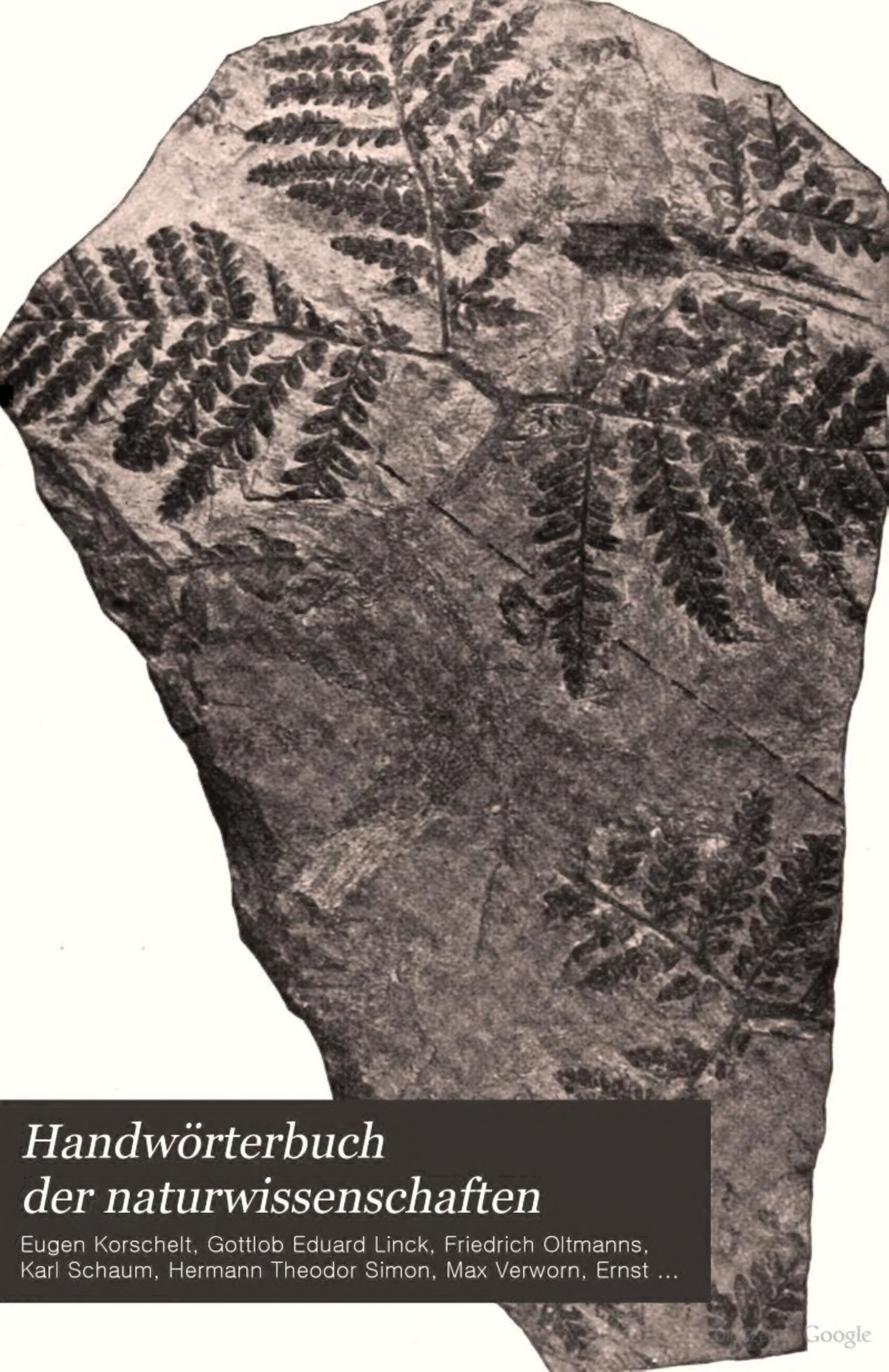


Handwörterbuch der naturwissenschaften

Eugen Korschelt, Gottlob Eduard Linck, Friedrich Oltmanns, Karl Schaum, Hermann Theodor Simon, Max Verworn, Ernst ...

Google

ARTES SCIENTIA VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM CIRCUMSPICE

THE GIFT OF
Prof. Alex. Ziwet

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Handwörterbuch der Naturwissenschaften.

Siebenter Band.

Q
12
H

Digitized by Google

Alexander Ziwet

Handwörterbuch
der
Naturwissenschaften

Herausgegeben von

Prof. Dr. E. Korschelt-Marburg
(Zoologie)

Prof. Dr. G. Linck-Jena
(Mineralogie und Geologie)

Prof. Dr. F. Oltmanns-Freiburg
(Botanik)

Prof. Dr. K. Schaum-Leipzig
(Chemie)

Prof. Dr. H. Th. Simon-Göttingen
(Physik)

Prof. Dr. M. Verworn-Bonn
(Physiologie)

Dr. E. Teichmann-Frankfurt a. M.
(Hauptredaktion)

Siebenter Band

Nagelflue — Pyridingruppe

Mit 744 Abbildungen

SEMPER BONIS ARTIBUS

JENA
Verlag von Gustav Fischer
1912

Digitized by Google

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright 1912 by Gustav Fischer,
Publisher, Jena.

Digitized by Google

Inhaltsübersicht.

(Nur die selbständigen Aufsätze sind hier aufgeführt. Eine Reihe von Verweisungen findet sich innerhalb des Textes und ein später herauszugebendes Sachregister wird nähere Auskunft geben.)

N.

	Seite
Nägeli, Carl Wilhelm von. Von Dr. **W. Ruhland**, Prof., Halle	1
Nahrungs- und Genußmittel des Menschen. Von Dr. **B. Schöndorff**, Prof., Bonn	1
Naphtalingruppe. Von Dr. **Jakob Meisenheimer**, Prof., Berlin-Dahlem	23
Naphtene. Von Dr. **B. Szelinski**, München	26
Narkose. Von Dr. **M. Verworn**, Prof., Bonn	31
Natterer, Johann August. Von **E. Drude**, Göttingen	38
Naturdenkmalpflege. Von Dr. **H. Conwentz**, Prof., Berlin	38
Naturwissenschaft. Von Dr. **J. Petzoldt**, Prof., Spandau	50
Naumann, Johann Andreas. Von Dr. **W. Harms**, Privatdozent, Marburg i. H.	94
Naumann, Johann Friedrich. Von Dr. **W. Harms**, Privatdozent, Marburg i. H.	95
Naumann, Karl Friedrich. Von Dr. **O. Marschall**, Eisenach	95
Nemathelminthes. Von Dr. **O. Hempelmann**, Privatdozent, Leipzig	95
Nephrit und Jadeit. Von Dr. **M. Bauer**, Prof., Marburg i. H.	113
Nervensystem. Anatomie des Nervensystems. Von Dr. **R. Hesse**, Prof., Berlin-Frohnau	118
— Allgemeine Physiologie des Nervensystems. Von Dr. **Fr. W. Fröhlich**, Prof., Bonn	140
Neumann, Franz Ernst. Von **E. Drude**, Göttingen	164
Neumayr, Melchior. Von Dr. **O. Marschall**, Eisenach	165
Newton, Isaac. Von **E. Drude**, Göttingen	166
Nicholson, William. Von **E. Drude**, Göttingen	166
Nichtmetalle. Von Dr. **A. Lottermoser**, Prof., Dresden	166
Nicol, William. Vn Dr. **K. Spangenberg**, München	168
Niepce, Joseph Nicéphore. Von **E. Drude**, Göttingen	168
Nilson, Frederik. Von Dr. **E. v. Meyer**, Prof., Dresden	168
Nitrosoverbindungen. Von Dr. **H. Wienhaus**, Göttingen	168
Nitroverbindungen. Von Dr. **H. Wienhaus**, Göttingen	179
Niveauverschiebungen. Von Dr. **G. Braun**, Privatdozent, Berlin	193
Nobel, Alfred. Von Dr. **E. v. Meyer**, Prof., Dresden	199
Nordenskjöld, Nils Gustav. Von Dr. **O. Marschall**, Eisenach	199
Nörrenberg, Johann Gottlieb Christian. Von **E. Drude**, Göttingen	199
Nutzhölzer. Von Dr. **M. Büsgen**, Prof., Hann.-Münden	199

O.

Obst. Mit Einschluß der sogenannten Südfrüchte. Von Dr. **J. F. Hanausek**, Prof., Wien	214
Occlusion. Von Dr. **A. Sieverts**, Privatdozent, Leipzig	227
Oekologie der Tiere. Von Dr. **R. Hesse**, Prof., Berlin-Frohnau	229
Oerstedt, Hans Christian. Von **E. Drude**, Göttingen	250
Ohm, Georg Simon. Von **E. Drude**, Göttingen	250

285432

Digitized by Google

Seite
Oken, Lorenz. Von Dr. W. Harms, Privatdozent, Marburg 250
Ontogenie. Von Dr. Johannes Meisenheimer, Prof., Jena 251
Onychophora. Von Dr. F. Zacher, Berlin-Dahlem 300
Oppel, Albert. Von Dr. O. Marschall, Eisenach 307
Optische Instrumente. Von Dr. O. Lummer, Prof., Breslau 308
Organe des tierischen Körpers. Von Dr. L. Rhumbler, Prof., Hann.-Münden . 333
Organische Chemie. Von Dr. O. Dimroth, Prof., München 342
Organische Verbindungen der Metalle und Nichtmetalle. Von Dr. K. Schaum, Prof., Leipzig 351
Organographie der Pflanzen. Von Dr. M. Raciborski, Prof., Krakau 369
Osmiumgruppe. Von Dr. F. Sommer, Charlottenburg 372
Osmotische Theorie. Von Dr. O. Stern, Prag 383
Otto, Julius. } Von Dr. E. v. Meyer, Prof., Dresden 391
Otto, Robert. } 391
Owen, Sir Richard. Von Dr. W. Harms, Privatdozent, Marburg 391
Oxydation. Von Dr. A. Moser, Privatdozent, Moskau 392
Oxyde. Von Dr. W. Meigen, Prof., Freiburg i. B. 402

P.

Pacini, Filippo. Von Dr. W. Harms, Privatdozent, Marburg 408
Pacinotti, Antonio. Von E. Drude, Göttingen 408
Paläobotanik. Von Dr. W. Gothan, Privatdozent, Berlin 408
Paläoklimatologie. Von Dr. M. Semper, Prof., Aachen 460
Paläontologie. Von Dr. J. F. Pompeckj, Prof., Göttingen 470
Pallas, Peter Simon. Von Dr. K. Spangenberg, München 478
Panceri, Paolo. . . . . . . } Von Dr. W. Harms, Privatdozent, Marburg . . . 479
Pander, Christian Heinrich. } . . . 479
Pankreas. Von Dr. C. A. Scheunert, Prof., Dresden 479
Pantopoda. Von Dr. Johannes Meisenheimer, Prof., Jena 490
Papin, Denis. Von E. Drude, Göttingen 495
Paracelsus, Philippus Aureolus Paracelsus Theophrastus Bombastus von Hohenheim. Von Dr. K. Spangenberg, München 495
Parasiten. Von Dr. W. Benecke, Prof., Charlottenburg 496
Parasitismus. Von Dr. M. Lühe, Prof., Königsberg 512
Pascal, Blaise. Von E. Drude, Göttingen 525
Pasteur, Louis. Von Dr. E. v. Meyer, Prof., Dresden 525
Pathologie. Von Dr. H. Ribbert, Prof., Bonn 525
Pebal, Leopold. . . . } 555
Pechmann, von, Hans. } Von Dr. E. v. Meyer, Prof., Dresden 555
Péligot, Eugène. . . } 555
Pelouze, Jules. . . . } 555
Peltier, Jean Charles Anathase. Von E. Drude, Göttingen 556
Pendel. Von Dr. Ph. Furtwängler, Prof., Wien 556
Perkin, William Henry. Von Dr. E. v. Meyer, Prof., Dresden 573
Perlen und Perlenbildung. Von Dr. E. Korschelt, Prof., Marburg 574
Permformation. Von Dr. F. Meinecke, Clausthal i. H. 586
Petit, Alexis Thérèse. Von E. Drude, Göttingen 595
Petit-Thouars, Louis Marie Aubert du. Von Dr. W. Ruhland, Prof., Halle a. S. 595
Petrochemie der Eruptivgesteine. Von Dr. A. Osann, Prof., Freiburg i. B. . . 596
— der Sedimente. Von Dr. G. Linck, Prof., Jena 606
— der metamorphen Gesteine. Von Dr. L. Hezner, Privatdozent, Zürich 611
Petrographie. Von Dr. G. Linck, Prof., Jena 618
Pettenkofer, Max. Von Dr. E. v. Meyer, Prof., Dresden 619
Pflanzenkrankheiten. Infektiöse Pflanzenkrankheiten. Von Dr. H. Klebahn, Prof., Hamburg 619
— Nichtparasitäre Pflanzenkrankheiten. Von Dr. E. Küster, Prof., Bonn . . . 646
Pflanzenstoffe unbekannter Konstitution. Von Dr. H. Liebermann, Berlin . 655
Pflüger, Eduard Friedrich Wilhelm. Von Dr. J. Pagel, weil. Prof., Berlin. . . . 658
Pharmazeutische Präparate. Von Dr. C. Mannich, Prof., Göttingen 659

Digitized by Google

Seite

Phasenlehre. Von Dr. **E. Jänecke,** Prof., Hannover 678
Phenanthrengruppe. Von Dr. **Jakob Meisenheimer,** Prof., Berlin-Dahlen 691
Phenole. Von Dr. **G. Reddelien,** Privatdozent, Leipzig 693
Phoronis. Von Dr. **F. Blochmann,** Prof., Berlin 707
Phosphoreszenz. Von Dr. **P. Waentig,** Privatdozent, Leipzig 712
Photochemie. Von Dr. **F. Weigert,** Privatdozent, Berlin-Schöneberg 719
Photographie. Von Dr. **E. Goldberg,** Prof., Leipzig 737
Photographische Meßkunst. Photogrammetrie. Von Dr. **E. Doležal,** Prof., Wien 754
Photometrie. Von Dr. **R. Lucas,** Gera (Reuß) 763
— **Photographische Photometrie.** Von Dr. **E. Goldberg,** Prof., Leipzig. . . . 779
Photosynthese. Von Dr. **H. Kniep,** Prof., Straßburg 781
Phototropie. Von Dr. **H. Stobbe,** Prof., Leipzig 816
Physik. Von Dr. **F. Auerbach,** Prof., Jena 819
Physik der Sonne. Von Dr. **W. H. Julius,** Prof., Utrecht 824
Physikalisch-chemische Analyse. Von Dr. **W. Böttger,** Prof., Leipzig 852
Physikalische Chemie. Von Dr. **W. Böttger,** Prof., Leipzig 857
Physikalische Größen. Von Dr. **W. v. Ignatowsky,** Privatdozent, Berlin . . . 858
Physikalische Technik. Von Dr. **F. Göpel,** Prof., Charlottenburg. 867
Physiologie. Von Dr. **M. Verworn,** Prof., Bonn 873
Pilze. Von Dr. **Ed. Fischer,** Prof., Bern 880
Plankton. Von Dr. **H. H. Gran,** Prof., Kristiania 929
Plateau, Joseph Antoine Ferdinand. Von **E. Drude,** Göttingen 950
Plathelminthes. Von Dr. **E. Bresslau,** Prof., Straßburg 951
Playfair, John. Von Dr. **O. Marschall,** Eisenach 993
Plücker, Julius. 994
Poggendorf, Johann Christian. 994
Poincaré, Henri. 994
Poinsot, Louis. . . . . . . Von **E. Drude,** Göttingen 994
Poiseuille, Jean Léon Marie. 994
Poisson, Siméon Denis. 995
Polarlicht. Von Dr. **G. Angenheister,** Prof., Samoa 995
Poli, Gius Saverio. Von Dr. **W. Harms,** Privatdozent, Marburg i. H. 1011
Polymorphismus. Von Dr. **E. Korschelt,** Marburg i. H. 1012
Polyphenylverbindungen. 1020
Diphenylgruppe. 1020
Diphenylmethangruppe. . . . . Von Dr. **H. Stobbe,** Prof., Leipzig 1022
Triphenylmethangruppe. 1024
Dibenzyl- oder Diphenyläthangruppe. 1026
Porifera. Von Dr. **O. Maas,** Prof., München 1028
— **Paläontologie.** Von Dr. **A. Schrammen,** Hildesheim 1047
Porzellan. Von Dr. **R. Riecke,** Charlottenburg 1053
Potential. Von Dr. **F. Auerbach,** Prof., Jena 1063
— **Elektrochemisches Potential.** Von Dr. **Fr. Flade,** Privatdozent, Marburg i. H.. 1078
Pouillet, Claude Servais Mathias. Von **E. Drude,** Göttingen 1088
Präcambrium. Von Dr. **J. J. Sederholm,** Prof., Helsingfors 1088
Präparative Arbeiten. Von Dr. **A. Thiel,** Prof., Marburg i. H. 1095
Priapuliden. Von Dr. **H. Schauinsland,** Prof., Bremen 1113
Priestley, Joseph. Von Dr. **E. v. Meyer,** Prof., Dresden 1117
Pringsheim, Nathanael. Von Dr. **W. Ruhland,** Prof., Halle a. S. 1117
Prinzipien der Physik. Von Dr. **M. Born,** Privatdozent, Göttingen 1118
Proust, Josèphe Louis. . . Von Dr. **E. v. Meyer,** Prof., Dresden 1126
Prout, William. 1126
Protozoa. Von Dr. **M. Hartmann,** Prof., Frohnau-Berlin 1126
Psychologie. Experimentelle Psychologie. Von Dr. **Th. Ziehen,** Berlin 1135
Psychophysik. Von Dr. **G. F. Lipps,** Prof., Zürich 1145
Pterobranchier. Von Dr. **J. W. Spengel,** Prof., Gießen 1155
Purkinje, Johannes Evangelista. Von Dr. **W. Harms,** Marburg i. H. 1162
Pyridingruppe. Von Dr. **W. König,** Privatdozent, Dresden 1163

Digitized by Google

N.

Nagelflue.

Schweizerische Bezeichnung für ein grobes Konglomerat, auf dessen Oberfläche die Gerölle gleich Nagelköpfen hervorragen (vgl. den Artikel „Gesteinseinteilung").

Nägeli

Carl Wilhelm von.

Er wurde am 27. März 1817 zu Kilchberg bei Zürich geboren, 1836 bezog er die Züricher Universität, um Medizin und Naturwissenschaft zu studieren. 1839 hörte er bei P. de Candolle in Genf Botanik und promovierte 1840 in Zürich mit einer Dissertation über die Cirsien der Schweiz. Nachdem er im Sommer desselben Jahres bei Hegel in Berlin Philosophie gehört und sich 1½ Jahr in Jena bei Schleiden aufgehalten hatte, habilitierte er sich 1842 in Zürich, wo er 1848 außerordentlicher Professor wurde. 1852 wurde er ordentlicher Professor in Freiburg i. Br. und 1855 in gleicher Eigenschaft an das Polytechnikum nach Zürich berufen. 1857 siedelte er an die Universität zu München über, wo er am 10. Mai 1891 starb. Nägelis Arbeiten sind sowohl durch Schärfe der Beobachtung als namentlich durch Tiefe des Gedankens bedeutend. Die meisten zeigen die ausgesprochen mathematisch-physikalische Denkweise des Verfassers. Aus der großen Fülle seien hier nur genannt: die Entdeckung der Spermatozoiden bei Farnen und Rhizocarpeen, die Beobachtungen über die Scheitelzelle und ihre Segmentierung (diese beiden in der von ihm und Schleiden herausgegebenen Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik (1844 bis 1847). Die Untersuchungen über Stärkekörner (1858), über den Verlauf der Blattspuren im Stengel (1858) und 1868), über Entstehung und Wachstum der Wurzeln (mit Leitgeb 1868) über das Verhalten der Zellhäute im polarisierten Licht (1863, diese wie die vorigen in den mit Cramer herausgegebenen „Pflanzenphysiologischen Untersuchungen". Zürich 1855 bis 1868, 4 Hefte) das mit Schwendener verfaßte Buch über das Mikroskop (2 Teile Leipzig 1865 und 1867; 2. Aufl. 1877) und das gegen die Selektionstheorie Darwins gerichtete große Werk: „Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre (München 1884), in der u. a. auch seine Neigung zu naturphilosophischer Spekulation hervortritt. Nicht zu vergessen sind auch seine langjährigen Studien über die Systematik der Hieraciumarten (mit H. Peter).

Literatur. *S. Schwendener, In Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellsch., Bd. IX, 1891, S. 26 bis 42. Dort auch ein Schriftenverzeichnis.*

W. Ruhland.

Nagelkalk.

Tutenkalk, Tutenmergel sind spitzen ineinander gesteckten Tuten ähnlich. Sie bestehen aus von einem Punkt aus radial angeordneten Kalkspatfasern, sind außen durch eine längsgestreifte und quergerunzelte Oberfläche charakterisiert und bilden in der Natur wenig mächtige Platten, in denen die Kegel die Spitzen von oben und unten einander zukehren. Ihre Entstehung ist noch nicht erklärt.

Literatur. *F. Zirkel, Lehrbuch der Petrographie 1893 I 509.*

Nahrungs- und Genußmittel des Menschen.

1. Einleitung. 2. Tierische Nahrungsmittel: a) Fleisch, Präparate aus Fleisch und tierische Fette: α) Zubereitung des Fleisches. β) Konservierung des Fleisches. γ) Fleischextrakt. δ) Eiweißpräparate aus Fleisch und anderen eiweißhaltigen Nahrungsmitteln. b) Eier: α) Vogeleier. β) Fischeier (Kaviar). c) Milch: α) Zusammensetzung der Milch. β) Milcharten. γ) Konservierung der Milch. δ) Milchpräparate und Molkereiprodukte: 1. Kondensierte Milch. 2. Alkoholische Getränke aus Milch. 3. Butter. 4. Käse. 3. Pflanzliche Nahrungsmittel: a) Getreide und Mehle. b) Brot. c) Mehlpräparate. d) Leguminosen. e) Oelgebende Samen und Pflanzenöle. f) Wurzelgewächse und Gemüse. g) Obst und Beerenfrüchte. h) Fruchtsäfte und Süßstoffe. 4. Genußmittel: a) Gewürze. b) Alkaloidhaltige Genußmittel: α) Kaffee. β) Tee. γ) Kakao. δ) Tabak. c) Alkoholische Genuß-

Digitized by Google

mittel: α) Bier. β) Wein. γ) Branntweine und Liköre.

1. Einleitung. Das Leben aller Organismen, also auch des Menschen und der Tiere, besteht in einer Reihe von chemischen Umsetzungen, die die Aufgabe haben, die Umwandlung von komplexen Verbindungen in einfachere zu ermöglichen und dadurch den Organismen den für den normalen Verlauf ihrer Funktionen notwendigen Energieaufwand zu liefern. Durch diese fortwährenden Zersetzungen findet ein dauernder Verlust an Körpersubstanz statt und es ist ja eine bekannte Erscheinung, daß Organismen eine Zeitlang von ihrer eigenen Körpersubstanz leben können. Aber für den normalen Verlauf dieser Vorgänge im Stoffwechsel ist es notwendig, daß dem Organismus von außen neues Material zugeführt wird, um die Verluste zu decken. Man nennt nun diese Stoffe Nahrungsstoffe und versteht darunter solche Stoffe, welche zum Ersatz verloren gegangener Körpersubstanz, zur Bildung neuer Zellen, zum Aufbau der Gewebe und zur Entwickelung von chemischer Energie dienen. Man unterscheidet organische Nahrungsstoffe und anorganische. Organische Nahrungsstoffe sind solche, welche imstande sind, bei der physiologischen Verbrennung für den Körper verwertbare chemische Energie zu liefern. Die Hauptvertreter dieser Gruppe von Nahrungsstoffen sind die stickstoffhaltigen Eiweißstoffe und die stickstofffreien Kohlehydrate und Fette.

Die anorganischen Nährstoffe, das Wasser und die Salze, sind solche, welche dem Körper zwar keine chemische Energie liefern, aber doch für den normalen Verlauf der Zersetzungen der organischen Stoffe unbedingt notwendig sind. Die chemischen Prozesse im Körper wären unwirksam ohne Wasser. Die Zufuhr der Nahrungsstoffe zu den Zellen, die Abfuhr der Zersetzungsprodukte von denselben usw. ist ohne Wasser nicht denkbar; da nun sowohl in gasförmigen wie in flüssigen Ausscheidungen große Mengen vom Wasser aus dem Körper entfernt werden, so muß durch die Zufuhr von außen durch die Nahrung ein Ersatz dieser Verluste herbeigeführt werden. Die Zufuhr von Salzen ist notwendig, weil mit den Exkreten und mit den Zersetzungsprodukten der organischen Nährstoffe dauernd eine mehr oder minder große Menge von anorganischen Salzen aus dem Körper abgeführt wird und der Körper schließlich an anorganischen Salzen verarmen würde, wenn nicht in der zugeführten Nahrung gleichzeitig für eine genügende Menge von anorganischen Salzen gesorgt wäre. Dieselben dienen zum Teil zum Ersatz für die mit den Endprodukten des Stoffwechsels aus dem Körper ausgeschiedenen Salze; zum Teil werden sie beim Wachstum der Zelle und beim Aufbau der Gewebe verwendet.

Die in der Natur vorkommenden Gemische der verschiedenen Nahrungsstoffe, sowohl der organischen, der Eiweißstoffe, der Fette und Kohlehydrate, wie der anorganischen, des Wassers und der Salze, nennt man Nahrungsmittel.

Außer diesen Nährstoffen, bezw. den Gemengen der Nährstoffe, den Nahrungsmitteln, bedarf aber der Mensch sowohl wie die Tiere einer Reihe von Stoffen, welche, da die meisten Nährstoffe geschmack- und geruchlos sind, den natürlichen Nahrungsmitteln einen ganz bestimmten Geschmack oder Geruch verleihen. Man nennt diese Stoffe nach Voit Würzmittel oder Genußmittel. Voit ist der erste gewesen, der die Bedeutung dieser Genußmittel für die Ernährung des Menschen erkannt und richtig gedeutet hat. Diese Anschauungen sind dann später durch die Versuche Pawlows und seiner Schule bestätigt worden. In dem Kapitel über die Bedeutung der Gewürz- und Genußmittel in Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. 6, 1 S. 420 äußert sich Voit folgendermaßen:

„Neben den Nahrungsstoffen genießen die Tiere und die Menschen in dem Futter und den Speisen noch eine große Anzahl anderer, meist nur in sehr geringer Menge vorkommender Stoffe, welche sie wohlschmeckend und genießbar machen, aber keine Bedeutung als Nahrungsstoffe besitzen, da sie keinen direkten Einfluß auf die Stoffzersetzungen im Körper ausüben, und mit der Erhaltung des stofflichen Bestandes des Lebens nichts zu tun haben.“ Weiter sagt Voit l. c. S. 422: „Die Genußmittel beeinflussen die Vorgänge der Verdauung durch ihre Wirkung auf das Nervensystem. Zunächst wirken die schmeckenden und riechenden Substanzen der Speisen, nachdem sie uns durch Erregung der Geschmacks- und Geruchsorgane eine angenehme Empfindung ausgelöst, noch auf viele andere Teile, namentlich des Darmkanals und bereiten letzteren für die Verdauung auf irgendeine Weise vor. Es wird reichlich Speichel abgesondert und ebenso findet eine stärkere Sekretion der Magensaftdrüsen statt.“ Durch Pawlow ist dann experimentell nachgewiesen worden, daß diese angenehmen Empfindungen es gerade sind, welche die Auslösung der Sekretion der Verdauungssäfte veranlassen. Und vor allem ist die Ausscheidung des psychischen Magensaftes gerade der Wirkung dieser Würzstoffe der Nahrungsmittel zuzuschreiben. Außer diesen Würzstoffen der Nahrung gibt es nun noch eine Reihe von Würzstoffen, die hauptsächlich aus dem Pflanzenreich stammen und der Nahrung zugefügt werden, um der-

Digitized by Google

selben einen besonderen und pikanten Geschmack zu verleihen, die Gewürze. Ferner nimmt der Mensch noch Stoffe zu sich, welche nicht direkt auf die Verdauungssäfte wirken, sondern erst nach ihrer Aufnahme in das Blut ihre Wirkung im Körper entfalten und zwar durch Vermittelung des Zentralnervensystems. Dazu gehören in erster Linie die alkaloid- und alkoholhaltigen Genußmittel, bei denen aber auch ihre spezifische Wirkung auf den Organismus nicht allein dem Alkaloid oder dem Alkohol zuzuschreiben ist, sondern gewissen aromatischen und flüchtigen Stoffen von zum Teil unbekannter Konstitution.

2. Tierische Nahrungsmittel. 2a) Fleisch, Präparate aus Fleisch und tierische Fette. Unter den tierischen Nahrungsmitteln ist für die Ernährung des Menschen am wichtigsten das Fleisch, d. h. das Muskelgewebe und zwar vorzugsweise das der landwirtschaftlichen Nutztiere. Der Mensch genießt aber auch das Fleisch von Wild, Geflügel, Fischen und wirbellosen Tieren. Der Fleischverbrauch bei der städtischen und ländlichen Bevölkerung, in den einzelnen Städten, in den einzelnen Ländern ist verschieden groß, je nachdem die Nahrung der betreffenden Individuen eine vorwiegend tierische oder pflanzliche ist, je nach der Wohlhabenheit der betreffenden Bevölkerungsklasse oder je nachdem die Bevölkerung zum Teil außer dem Fleisch noch vorwiegend Milch und Milchprodukte und Eier genießt. Von Lichtenfelt ist der Fleischverbrauch pro Kopf der Bevölkerung für verschiedene Städte im Jahre 1895/96 berechnet worden.

Er betrug im Durchschnitt:

	Königsberg	Breslau	Dortmund Leipzig Dresden Chemnitz	Köln Düsseldorf Essen Krefeld	Bremen Hannover Braunschweig	Kiel Straßburg Metz	Kassel Wiesbaden Frankfurt (Main)	Berlin Karlsruhe Mannheim	München Augsburg Nürnberg
Im Jahr kg	40,7	41,3	47,2	48,7	54,3	59,0	66,6	70,9	80,2
pro Tag g	111	113	129	133	148	162	182	194	219

Als Durchschnittszahlen gibt Lichtenfelt an:

für ländliche Bevölkerung 34,98 kg im Jahr
96 g im Tage
„ städtische „ 54,6 kg im Jahr
150 g im Tage

Kühna berechnet als mittleren Verbrauch:

für ländliche Bevölkerung 31,6 kg im Jahr
86 g im Tage
„ städtische „ 52,4 kg im Jahr
146 g im Tage

Es zeigt sich also zwischen der städtischen und ländlichen Bevölkerung ein erheblicher Unterschied. Diese Unterschiede werden aber viel bedeutender, wenn wir die einzelnen Länder vergleichen, Länder mit vorwiegend tierischer Nahrung mit solchen mit vorwiegend vegetabilischer Nahrung. Nach einer Aufstellung des statistischen Amtes in England betrug im Jahre 1890 der Fleischverbrauch in den verschiedenen Ländern:

(siehe nebenstehende Tabelle)

	pro Jahr kg	pro Tag g
Australien	111,6	306
Vereinigte Staaten	54,4	149
Großbritannien	47,6	130
Schweden u. Norwegen	39,5	108
Frankreich	33,6	92
Deutschland	31,6	87
Belgien u. Holland	31,3	86
Oesterreich-Ungarn	29,0	79
Rußland	21,8	59
Spanien	22,2	61
Italien	10,4	29

Das eigentliche Muskelfleisch selbst besteht aus einzelnen Muskelfasern, die von Bindegewebe, in welchem das Fett abgelagert ist, umgeben sind. Der Geschmack des Fleisches hängt viel vom Alter der Tiere ab. Das Fleisch junger Tiere ist zarter und wohlschmeckender, während dasjenige alter hart und wenig schmackhaft ist. Bei Säugetieren und Vögeln ist das Fleisch weiblicher Tiere zarter und fetter, aber weniger schmackhaft. Auch durch die Kastration wird das Fleisch zarter und weicher.

Bezüglich der Verdaulichkeit des Fleisches verschiedener Tierklassen scheinen keine großen Unterschiede zu existieren. Jedenfalls haben Ausnutzungsversuche von Atwater, Osawa und anderen ergeben, daß Fischfleisch ebenso leicht verdaulich ist wie Rindfleisch.

Die chemische Zusammensetzung des Ochsenfleisches, d. h. der von sichtbarem Fett, Sehnen, Bindegewebe, Blutgefäßen usw. freipräparierten Muskelsubstanz ist

Digitized by Google

eine ziemliche konstante. König gibt als mittleren Durchschnittswert folgende Zahlen an:

Wasser	76 %
Trockensubstanz	24 %
darin:	
Stickstoffsubstanzen	21,5%
Fett	1,5%
Salze	1 %

Der Wassergehalt des Fleisches ist abhängig von dem Fettgehalt desselben. Je höher der Fettgehalt, desto geringer der Wassergehalt und umgekehrt.

Nach Siegert enthält das Fleisch von verschiedenen Körperstellen eines fetten Ochsen:

	Wasser	Fett
Halsstück	73,5 %	5,8 %
Lendenstück	63,4 %	16,7 %
Schulterstück	50,5 %	34,0 %

Von wesentlichem Einfluß auf die Zusammensetzung ist auch die Mast des Tieres.

Nach Lawes und Gilbert enthält

	Wasser %	Eiweiß %	Fett %
ein sehr fetter Ochse	54,8	16,9	27,2
ein mittelfett. Ochse	72,2	21,4	5,2
ein magerer Ochse	76,7	20,0	1,5

Bei den verschiedenen Säugetierarten schwankt der Wassergehalt des von sichtbarem Fett befreiten Fleisches in beträchtlichen Grenzen. Den höchsten Wassergehalt hat das Kalbfleisch mit 78,8%, den niedrigsten das Schweinefleisch mit 74,2%.

Unter den stickstoffhaltigen Substanzen finden sich im Muskelfleisch außer den Muskeleiweißstoffen und den leimgebenden Stoffen in größerer oder geringerer Menge Kreatin bis 0,3%, Kreatinin in Spuren, Hypoxanthin, Xanthin, Harnstoff, Harnsäure, Inosinsäure, Phosphorfleischsäure usw.

Unter den stickstofffreien Extraktivstoffen sind außer Fett zu nennen: Glykogen, Traubenzucker, Inosit, Paramilchsäure usw.

Man hat früher angenommen, daß das Pferdefleisch am meisten Glykogen enthielte, aber nach den Untersuchungen von Rusche enthält das Fleisch der landwirtschaftlichen Schlachttiere in vielen Fällen bedeutend mehr Glykogen als Pferdefleisch. So fand derselbe z. B. im Fleisch von Mastochsen bis 2,183%, im Kalbfleisch bis zu 0,84%.

Die mineralischen Bestandteile betragen etwa 0,8 bis 1,6% des natürlichen, 3,2 bis 7,5% des wasserfreien Fleisches und bestehen hauptsächlich aus Kaliumphosphat und Chlornatrium, in geringerer Menge aus Calcium- und Magnesiumphosphat.

Bezüglich der allgemeinen Eigenschaften der verschiedenen Fleischarten mögen folgende kurze Bemerkungen genügen.

Das Fleisch von fetten Ochsen hat eine braunrote Farbe und ist ziemlich grobfaserig, derb, glänzend; ähnlich verhält sich das Fleisch von jungen Kühen und Rindern, während das Fleisch von älteren Tieren meist ein minder gutes Aussehen, weniger Fettgehalt und geringeren Schlachtwert hat. Kalbfleisch ist im ersten Jugendzustand blaßrot bis graurot, sehr wasserhaltig, aber von geringem Fettgehalt. Der Nährwert des Kalbfleisches hängt von dem Alter ab, in welchem die Tiere geschlachtet werden. Im allgemeinen sollen Kälber erst am Ende des ersten Monats geschlachtet werden. Jedenfalls gilt das Fleisch nüchterner oder ungeborener Kälber als gesundheitsschädlich.

Hammelfleisch zeichnet sich durch ein feinfaseriges Gewebe und durch eine helle bis ziegelrote Farbe aus. Der Fettgehalt kann sehr groß werden und das Fleisch dann einen eigentümlichen Geruch und talgigen Geschmack annehmen.

Das Schweinefleisch bildet hauptsächlich die Nahrung der ärmeren Bevölkerung, weil die Schweine sich leicht und billig durch Abfallstoffe mästen lassen und weil das Fleisch sich wegen seines hohen Fettgehaltes sehr gut aufbewahren läßt. Das Fleisch ist blaßrosa bis rosarot und stark mit Fett durchwachsen und umwachsen. Die Art des Futters ist von besonderem Einfluß auf den Wohlgeschmack desselben. Ausschließliche Kartoffelnahrung liefert ein wässeriges und geschmackloses Fleisch, während Fütterung mit Fischmehl oder Fleischmehl demselben einen tranigen Beigeschmack geben. Am besten ist eine gemischte Nahrung.

Die Farbe des Pferdefleisches ist braunrot bis dunkelbraunrot. Sein Fettgehalt ist verhältnismäßig gering und das Fett dunkelgelb gefärbt. Infolge des hohen Glykogengehalts hat das Fleisch einen süßlichen Geschmack, der bei manchen eine Abneigung gegen den Genuß von Pferdefleisch hervorruft. Der Pferdefleischverbrauch beträgt ungefähr 1 bis 2% des gesamten Fleischverbrauchs.

Ebenso tritt gegenüber den landwirtschaftlichen Haustieren der Verbrauch von Wild und Geflügel bedeutend zurück. Das Fleisch ist feinfaseriger und besitzt ein dichteres Gewebe als das Fleisch der landwirtschaftlichen Haustiere. Man läßt es deshalb gewöhnlich vor dem Genuß eine Art Zersetzung durchmachen, indem man es mehrere Tage in kühlen Räumen aufbewahrt. Die Muskeln enthalten nur wenig Fett, in

Digitized by Google

folgedessen durchsetzt man das Fleisch von Wild bei der Zubereitung mit Speck. Im allgemeinen wird nur das Fleisch von gras- und pflanzenfressendem Wild und Geflügel vom Menschen genossen. Das Fleisch der fleischfressenden Tiere, z. B. der Raubtiere, soll einen ekelhaften Geschmack besitzen und ist in Ausnahmefällen gegessen worden. Außer dem Fleisch der Säugetiere und Vögel dient auch das Fleisch der Fische und zwar bei manchen Völkern, z. B. den Japanern, als fast ausschließliches tierisches Nahrungsmittel. Die Farbe des Fischfleisches ist gewöhnlich weiß, nur die des Lachses ist rot. Das Fischfleisch ist durch einen hohen Wassergehalt ausgezeichnet, der um so höher ist, je geringer der Fettgehalt. Zu den fettreichen Fischen gehören Lachs, Hering, Sprotte, Aal, Makrele usw.; zu den fettarmen Schellfisch, Hecht, Seezunge, Kabliau usw.

Das Fleisch der wirbellosen Tiere kommt weniger als Nahrungsmittel, denn als Leckerbissen in Betracht. Die wichtigsten sind unter den Krustentieren der Hummer, der Krebs und die Krabbe, unter den Mollusken die Auster, die Mießmuschel und die eßbaren Schnecken, unter den Amphibien die Schildkröte und der Frosch (Froschschenkel).

Außer der eigentlichen Muskelsubstanz selbst werden von den landwirtschaftlichen Haustieren auch die Schlachtabfälle genossen, die manchmal bis 1/4 des Lebendgewichts der Tiere ausmachen können. Darunter ist besonders zu erwähnen, Blut, Herz, Niere, Gehirn, Lunge, Zunge, Magen und Darm, Thymusdrüse des Kalbes (Kalbsmilch). Der Gehalt an Stickstoffsubstanz ist nahezu gleich der des Muskelfleisches, aber die Stickstoffsubstanz besteht zum größten Teil aus leimgebender Substanz, die einen geringeren Nährwert hat als das Muskeleiweiß. Manche, wie Niere und Leber, zeichnen sich auch durch einen spezifischen Geschmack aus, der durch das Vorhandensein von Harn- resp. Gallenbestandteilen bedingt ist. Ebenso wird das Fettgewebe der landwirtschaftlichen Haustiere, welches sich am Darm, im großen und kleinen Netz und an der Niere ansammelt, der menschlichen Ernährung nutzbar gemacht. Es wird ausgeschmolzen und kommt als Rinderfett oder Schweineschmalz in den Handel. Im hohen Norden wird auch das Fett der Fische, der Fischtran, verzehrt, während in unseren Breiten das Leberfett gewisser Gadusarten wie Dorsch unter dem Namen Lebertran als Arzneimittel dient. Beifolgende Tabelle, die teils dem Lehrbuch der Physiologie von Zuntz-Loewy, teils König, Chemie der Nahrungs- und Genußmittel Bd. I S. 703 entnommen ist, möge eine Uebersicht geben über die prozentische Zusammensetzung der wichtigsten im vorhergehenden besprochenen Nahrungsmittel.

Bezeichnung	Eiweiß in %	Fett in %	Wasser in %	Asche in %
Ochse				
fett . . .	16,8	29,2	53,1	0,9
mittelfett .	21,0	5,5	72,5	1,0
mager . .	20,7	1,7	76,4	1,2
Kuh				
fett . . .	19,9	7,7	71,0	1,1
mager . .	20,5	1,8	76,4	1,3
Kalb				
fett . . .	18,9	7,4	72,3	1,3
mager . .	19,9	0,8	77,9	1,4
Hammel				
sehr fett .	17,0	29,5	51,3	1,0
halbfett . .	17,1	5,8	76,0	1,3
Schwein				
fett . . .	14,5	37,3	47,4	0,7
mager . .	20,3	6,8	72,6	1,1
Pferd	21,7	2,6	74,3	1,0
Fleisch von Wild u. Geflügel				
Reh . . .	19,8	1,9	75,8	1,1
Hase . . .	23,3	1,1	74,2	1,2
Huhn . . .	21,3	4,5	72,2	1,1
Taube. . .	22,1	1,0	75,1	1,0
Gans . . .	14,2	44,3	40,9	1,7
Fleisch von Fischen				
Lachs . .	21,6	12,7	64,3	1,4
Aal	12,8	28,4	57,4	0,9
Hering . .	16,1	8,5	73,7	1,7
Schellfisch .	17,0	0,3	81,5	1,3
Dorsch . .	16,7	0,3	81,8	1,3
Barsch . .	18,5	0,7	79,5	1,3
Hecht . .	18,7	0,5	79,6	1,2
Karpfen. .	15,7	4,8	78,2	1,3
Forelle . .	19,2	2,1	77,5	1,2
Fleisch von Wirbellosen				
Auster (Fleisch).	9,04	2,04	80,52	1,96
Miesmuschel	9,97	1,17	83,61	1,61
Hummer .	14,49	1,84	81,84	1,71
Krebs. . .	16,0	0,46	81,22	1,31

a) Zubereitung des Fleisches. Das Fleisch wird vom Menschen nur selten im rohen Zustande genossen, meist wird es einer besonderen Zubereitung, Kochen oder Braten, unterworfen.

Das Kochen geschieht entweder so, daß man das Fleisch direkt auf dem freien Feuer mit Wasser bis zur Siedehitze erhitzt, oder dasselbe im Wasserbade kocht. Beim Dämpfen oder Dünsten des Fleisches wird dasselbe nur mit wenig Wasser versetzt und das Erhitzen unter Luftabschluß vorgenommen. Unter Braten versteht man ein Erhitzen ohne Wasserzusatz, aber mit Hinzu-

Digitized by Google

fügung von Fett in trockener Wärme bei 115 bis 120°, unter Rösten ein Erhitzen bei 150 bis 160°.

Bei diesen Prozessen wird das Bindegewebe durch die Wärme und die Säuren in Leim übergeführt, so daß die Muskelfasern sich leichter trennen lassen. Ein Teil des Eiweißes wird koaguliert und ein Teil des Fleischsaftes ausgepreßt. Je nach der Art der Erhitzung erleidet das Fleisch verschiedene Veränderungen, die von Liebig in seiner berühmten Arbeit über die Zusammensetzung der Fleischflüssigkeit folgendermaßen geschildert worden: „Bringt man Fleisch in kaltes Wasser und erwärmt es langsam, so geht ein Teil der Salze, das lösliche Eiweiß und andere Extraktivstoffe in das Wasser über. Von der Oberfläche nach innen löst sich das Albumin auf, die Fleischfaser wird hart und zähe. Bei 56° gerinnt das in Lösung gegangene Eiweiß, bei 70° das Hämoglobin, beide scheiden sich zusammen als braunes Gerinnsel (Schaum) ab. Bei weiterem Erhitzen geht das Bindegewebe in Leim über, der in geringen Mengen in Lösung geht. Im Innern des Fleischstückes gerinnt auch das Eiweiß und das Hämoglobin. Derart langsam und lange angekochtes Fleisch liefert eine gute Fleischbrühe, aber ein zähes und wenig schmackhaftes, aber darum nicht weniger nahrhaftes Fleisch. Bringt man aber das Fleisch sofort in siedendes Wasser und erhält das Wasser am Sieden, so gerinnt das Eiweiß an der Oberfläche des Fleisches und verhindert das Austreten des Fleischsaftes. Man erhält dann ein schmackhaftes Fleisch, aber eine schlechte Suppe.“

Beim Kochen und Dämpfen treten etwa 3 bis 5% der festen Bestandteile desselben in das Wasser über und zwar etwa 50% der Extraktivstoffe neben etwas Leim, Eiweiß und Fett und etwa 80% der Mineralstoffe. Auch verliert das Fleisch ungefähr 20% Wasser.

Beim Braten gerinnt unter dem Einfluß der hohen Temperatur das Eiweiß an der Außenfläche desselben und verhindert dadurch ein Austreten des Fleischsaftes. Infolgedessen bleibt das Fleisch im Innern saftig. Bei der hohen Temperatur wird auch das Hämoglobin zerstört und das Fleisch bräunt sich. Durch Zersetzung gewisser Bestandteile der Kruste entstehen eine Anzahl charakteristisch und angenehm schmeckender und riechender Stoffe. Infolge der Koagulation des Eiweißes und des schlechten Wärmeleitungsvermögens des Fleisches dringt aber die Hitze nur sehr langsam in das Innere ein. Bei einer Temperatur von 56° ist zwar das Eiweiß geronnen, aber das Hämoglobin noch unzersetzt. Erst bei 70° wird dieses zerstört, und der Braten ist dann nicht mehr rot im Innern.

Das gebratene Fleisch verliert ungefähr 20 bis 24% an Gewicht, während gesottenes Fleisch ungefähr 40% einbüßt.

β) Konservierung des Fleisches. Infolge seiner chemischen Zusammensetzung (hoher Wassergehalt, reichliche organische Substanz und Salze) ist das Fleisch sehr leicht dem Verderben ausgesetzt und bildet einen äußerst günstigen Nährboden für Mikroorganismen. Kommt dann noch die nötige Wärme, Zutritt des Sauerstoffs der Luft und Gegenwart der Bakterien hinzu, so sind die Bedingungen für das Eintreten von Fäulnis gegeben. Diese macht sich durch Verfärbung des Fleisches (graugrünlich, violett), dem Auftreten eines unangenehmen, ekelerregenden Geruchs und Geschmacks, gewisser physikalischer Aenderungen, wie Lockerung und Zerfallen des Bindegewebes, schmierige Oberfläche, Auftreten von Gasblasen usw. bemerkbar. Gleichzeitig treten eine Reihe von giftigen, chemischen Produkten auf, die von Brieger und Selmi Fäulnisalkaloide, Ptomaine genannt wurden, und denen man die häufig auftretenden Vergiftungserscheinungen nach Genuß von faulem oder verdorbenem Fleisch und Fleichpräparaten (Wurstvergiftung, Fischvergiftung) zuschrieb. Neuere Forschungen haben aber ergeben, daß es nicht diese Stoffe sind, welche sich in so hohem Grade giftig erweisen, sondern daß es sich um die Wirkung von amorphen Toxalbuminen handelt, die unter der Tätigkeit gewisser Bakterien gebildet werden.

Die Methoden der Konservierung des Fleisches sind folgende: 1. Trocknen des Fleisches und dadurch Entziehung der den Bakterien zu ihrem Wachstum nötigen Feuchtigkeit. Dieses Verfahren ist am meisten in unseren Breiten bei den Fischen im Gebrauch (Stockfisch, Klippfisch).

In den Tropen benutzt man die Sonnenwärme zum Trocknen des Rindfleisches, das man in lange Streifen schneidet, salzt und an der Luft trocknet (Charque) oder aber ohne Salz an der Luft trocknet und dann mit Fett zu einer breiigen Masse verarbeitet (Pemmikan).

2. Abschluß von Luft. Die Fleischstücke werden mit geschmolzenem Fett übergossen (Gänseleberpastete), Fische werden in Oel gelegt, oder Fleisch wird in einer Atmosphäre von Kohlensäure oder schwefliger Säure in luftdicht verschlossenen Büchsen aufbewahrt.

3. Anwendung von Kälte. Aufbewahrung in Kühlräumen der Schlachthäuser und der Transportschiffe für den überseeischen Fleischtransport. Die konservierende Wirkung der Kälte wird noch erhöht durch ausreichende Bewegung der abgekühlten Luft. In manchen Fällen läßt man auch das Fleisch

Digitized by Google

frieren und bewahrt es dann in Kühlräumen auf.

4. Kochen unter gleichzeitigem Luftabschluß. Durch das Kochen des Fleisches wird das leicht lösliche und leicht faulende Albumin in einen unlöslichen Zustand übergeführt, die Fäulniserreger abgetötet und der Zutritt neuer Keime durch sofortigen Verschluß der Gefäße verhindert. Dieses Verfahren ist heutzutage fast ausschließlich auch beim Konservieren der Gemüse und Früchte im Gebrauch.

5. Der Zusatz von fäulniswidrigen Mitteln, durch welchen entweder die Fäulnisbakterien getötet oder in ihrer Entwickelung gehemmt werden. Das am meisten geübte Verfahren ist das Einsalzen oder Einpökeln des Fleisches. Das Fleisch wird entweder mit Kochsalz und Salpeter (zur Erhaltung der roten Farbe) eingerieben oder lagenweise in Fässer gebracht und mit ca. 25% Kochsalzlösung übergossen oder Salz zwischen die einzelnen Lagen gestreut. Das Salz wird von dem Wasser der Fleischflüssigkeit gelöst und das Fleisch dadurch wasserärmer. Das Fleisch verliert aber seinen Wohlgeschmack und ein großer Teil der löslichen Substanzen, besonders der Extraktivstoffe geht in die Pökelflüssigkeit über. Das gesalzene Fleisch wird vielfach noch geräuchert; durch das Räuchern wird dem Fleisch einerseits noch mehr Wasser entzogen und andererseits das Fleisch mit Produkten der trockenen Destillation des Holzes, Kreosot, Phenol, Holzessig überzogen und durchtränkt, welche der Wirkung von Bakterien entgegenarbeiten.

Die Verwendung anderer Mittel zur Konservierung wie Salizylsäure, Borsäure, unterschwefligsaures Natron, Formaldehyd usw. ist in Deutschland verboten.

6. Zu den Fleischkonserven gehören im weiteren Sinne auch noch die Würste und Pasteten. Unter Wurst versteht man konservierte Fleischwaren, die aus gehacktem Fleisch und anderen Bestandteilen des tierischen Körpers unter Zusatz von Wasser, Gewürzen, Salz, zuweilen auch Eiern oder Milch hergestellt werden. Die Aufbewahrung geschieht in gereinigten Därmen oder auch Pergamentschläuchen. In ähnlicher Weise wie die Würste werden auch Pasteten dargestellt, nur daß sie zwecks längerer Konservierung in luftdicht verschlossene Gefäße von Metall oder Porzellan gefüllt werden.

γ) Fleischextrakt. Man versteht unter Fleischextrakt mehr oder weniger stark eingedickte wässerige Fleischauszüge, welche sämtliche in Wasser lösliche Fleischbestandteile und zwar hauptsächlich die stickstoffhaltigen Fleischbasen, nur geringe Mengen von Eiweiß, Milchsäure, Glykogen und die Fleischsalze enthalten.

Besonders auf Veranlassung von Liebig wurde 1850 von Pettenkofer Fleischextrakt zuerst im kleinen fabriziert und dann in Südamerika die Fabrikation im großen begonnen, wie sie jetzt noch weitergeführt wird. Man gewinnt aus 30 kg mageren Fleisch 1 kg Fleischextrakt, der nur noch Spuren von Eiweiß enthält. Man hatte früher dem Fleischextrakt, auch Liebig war dieser Ansicht, einen übertrieben großen Nährwert zugeschrieben, aber wie schon aus der folgenden Analyse des Liebigschen Fleischextrakts:

Wasser	17,7 %
Organ. Stoffe	61,4 %
Ges. Stickstoff	9,17%
Eiweiß	6,4 %
Sonstige N-Verb.	54,7 %
Salze	21,26%

hervorgeht, besteht der Stickstoff des Fleischextrakts zum allergeringsten Teil aus Eiweiß und zum allergrößten Teil aus den stickstoffhaltigen Fleischbasen. Der Fleischextrakt ist ein Genußmittel, das anregend auf die Verdauung wirkt und gehört nach Pawlow zu den Substanzen, die die chemische Sekretion des Magensafts veranlassen. Die Behauptung Kemmerichs, daß größere Mengen von Fleischextrakt giftig seien, ist durch die Untersuchungen Lehmanns widerlegt worden.

δ) Eiweißpräparate aus Fleisch und anderen eiweißhaltigen Nahrungsmitteln. Die Erkenntnis, daß der Fleischextrakt kein Nahrungs-, sondern ein Genußmittel sei, hatte schon Liebig veranlaßt Versuche darüber anzustellen, ob es nicht möglich sei, das Eiweiß der großen überseeischen Fleischvorräte in eine haltbare Form zu bringen, und dadurch für die menschliche Ernährung in fleischärmeren Ländern nutzbar zu machen.

Liebig versuchte durch Extrahieren von Fleisch mit salzsäurehaltigem Wasser einen Teil des Eiweißes in Lösung zu bringen. Später hat man dann durch Einwirkung von Fermenten versucht, das Fleisch aufzuschließen. Auf diese Weise entstanden die im Handel vorkommenden Peptone, und zwar Pepsinpeptone durch Einwirkung von frischem Magensaft vom Schwein oder Pepsinpulver und Salzsäure auf Fleisch, Pankreaspeptone durch Einwirkung von Trypsin, dem Ferment der Bauchspeicheldrüse, und Pflanzenpepsinpeptone durch Einwirkung eines in der Melone, Carica Papaya, enthaltenen proteolytischen Fermentes, dem Papayatin, gewonnen. Außerdem hat man noch versucht, durch Einwirkung von überhitztem Wasserdampf (Kemmerich, Kochs) oder durch Ein-

Digitized by Google

wirkungen von chemischen Lösungsmitteln (Leube-Rosenthalsche Fleischlösung, Fleischsaft Puro, Valentins meat-juice) peptonisierte Fleischlösungen darzustellen, die teils in festem, teils in flüssigem Zustande in den Handel kommen.

In neuerer Zeit sind nun außer dem Fleischeiweiß eine Reihe anderer tierischer Eiweißstoffe (Fleisch von Fischen, Kasein, Eiereiweiß, Blut usw.), ferner pflanzliche Eiweißstoffe (Legumin, Kleberprotein) zur Darstellung von Eiweißpräparaten benutzt, die entweder in Wasser unlöslich oder löslich sind.

Dieselben sollen teilweise dazu dienen, den Eiweißgehalt mancher eiweißarmen Nahrungsmittel zu erhöhen, teils zur Ernährung von Kranken bei gestörter Verdauungstätigkeit, teils zur Hebung der Kräfte von anämischen und durch andere Krankheit sehr heruntergekommenen Patienten. Ihre Zahl ist eine so unendlich große geworden und der Umstand, daß fast jeden Tag neue Präparate auf den Markt gebracht werden oder von demselben verschwinden, erlaubt es nicht, im Rahmen dieses Artikels auf die einzelnen einzugehen. In Königs Nahrungsmittelchemie Bd. II S. 530 findet sich eine Uebersicht der bis zum Jahre 1904 dargestellten Präparate. In neuester Zeit hat man auch Präparate dargestellt durch Verbindung von Lezithin und Eiweiß, die unter dem Namen Lezithineiweiß, Lezithol, Biozitin usw. in den Handel gebracht werden. Die Bestrebungen, Eiweißpräparate auch für die Ernährung von Gesunden zu verwenden, scheitern daran, daß sie teurer sind als das Eiweiß, welches der Mensch in natürlicher Form zu sich nehmen kann, und weil in diesem Falle der Mensch die natürlichen Nahrungsmittel, die seine Geschmacks- und Geruchsnerven in angenehmer Weise erregen, vorzieht. Bei der Ernährung von Kranken können sie in manchen Fällen gute Dienste leisten.

2b) Eier. Als Nahrungsmittel kommen hauptsächlich Vogeleier und zwar Hühnereier, seltener Enten- und Gänseeier, und Fischeier (Kaviar) in Betracht.

α) Vogeleier. Die chemische Zusammensetzung der Eier aller Vögel ist ungefähr dieselbe. Es beträgt das Gewicht der Schale 10 bis 12%, des Eiweißes 50 bis 56% des Eigelbs 30 bis 40% des Gesamtgewichts. Der Gesamtinhalt eines Hühnereies (Eiweiß und Eigelb) hat folgende Zusammensetzung nach König:

Wasser	73,67%
Stickstoffsubstanz	12,57%
Fett	12,02%
N-freie Substanz	0,67%
Asche	1,07%

Das Eiweiß und Eigelb für sich haben folgende mittlere Zusammensetzung:

	Eiweiß in %	Eigelb in %
Wasser	86,44	47,47
Stickstoffsubstanz	11,71	16,85
Fett	0,07	33,76
Stickstofffreie Substanz	1,01	0,44
Asche	0,77	1,18

Die Haupteiweißkörper des Eiereiweißes sind das Albumin und Globulin und das Ovomukoid, der Eiweißkörper des Eidotters, das Vitellin. Im Eidotter kommt noch in größerer Menge Lezithin vor.

Der Nährwert der Eier wird vielfach überschätzt. Nach Voit ist ein Ei mit 6 g Eiweiß und 6 g Fett gleichwertig 40 g Fleisch und 150 ccm Milch. Um den täglichen Eiweißbedarf eines Menschen zu decken, wären also ungefähr 20 Eier nötig. Die Ausnutzung und Verdaulichkeit hartgekochter Eier ist eine ebensogute wie die des Fleisches, wie ein Selbstversuch von Rubner, der 21 Eier an einem Tage verzehrte, beweist. Die Eier gehen bei längerem Aufbewahren leicht in Fäulnis über, indem entweder von außen Schimmelpilze durch die Schale eindringen oder Bakterien schon im Eileiter dem Eiweiß sich beimengen und sich unter günstigen Bedingungen weiter entwickeln. Die Methoden, um Eier zu konservieren, laufen alle darauf hinaus, die Luft und die Bakterien demselben fernzuhalten, indem man entweder die Eier mit einem luftdichten Ueberzug (Paraffin, Wachs, Wasserglas usw.) überzieht oder mit antiseptischen Mitteln, Lösungen von Borsäure, Salizylsäure, Kalkwasser behandelt, oder sie in Asche, Häcksel oder Kleie aufbewahrt.

β) Fischeier (Kaviar). Unter Kaviar versteht man hauptsächlich die von Häuten und Fasern befreiten, gesalzenen Eier von Stör, Hausen, Sterlet. Es kommen aber auch Eier von anderen Fischen, Salm, Hecht, Karpfen, in den Verkehr. Der körnige Kaviar enthält nach König 47,86% Wasser, 29,34% Stickstoffsubstanz, 13,98% Fett, 7,4% Salze, kann also wegen seines hohen Gehalts an Eiweiß und Fett als ein ausgezeichnetes, aber auch teures Nahrungsmittel angesehen werden, er wird jedoch meistens nur als ein appetitanregendes Genußmittel verwendet.

2c) Milch. In der ersten Lebensperiode, in der Zeit zwischen Geburt und Dentition, liefert die Milch für alle Säugetiere alle Stoffe zur Ernährung, zur Erhaltung und zum Wachstum des Körpers. Sie ist infolgedessen für dieses Entwickelungsstadium eins der wichtigsten Nahrungsmittel. Aber auch

Digitized by Google

für den Erwachsenen spielt sie in der täglichen Nahrung eine große Rolle, da sie nicht nur als solche genossen wird, sondern auch Präparate aus ihr dargestellt werden, wie Butter und Käse, die ebenfalls für die Ernährung des Menschen eine große Bedeutung haben. Nach König beträgt der Milchverbrauch pro Tag und Kopf der Bevölkerung $^1/_4$ bis $^3/_{10}$ l, der Verbrauch an Butter 20 bis 30 g, von Käse 8 bis 15 g.

Die Milch ist eine weißlichgelblich bis bläulich gefärbte, mehr oder weniger undurchsichtige Flüssigkeit von eigentümlichem Geruch und süßlichem Geschmack. Die Undurchsichtigkeit der Milch ist dadurch bedingt, daß dieselbe eine Emulsion zwischen Eiweißlösung und Fett darstellt. Die Reaktion ist amphoter, d. h. sie färbt blaues Lackmuspapier rot und rotes blau. Dies ist bedingt durch die gleichzeitige Anwesenheit von primären (sauer reagierenden) und sekundären (alkalisch reagierenden) Alkaliphosphaten. Das spezifische Gewicht der Milch schwankt zwischen 1,008 und 1,045.

Läßt man Milch längere Zeit stehen, so sondern sich die Fettkügelchen an der Oberfläche ab und bilden die sogenannte Rahmschicht.

α) Zusammensetzung der Milch. Neben Wasser sind die hauptsächlichsten Bestandteile Eiweißkörper (Kasein und Albumin), Fett, Milchzucker und Salze. Das Kasein, ein Nukleoproteid, befindet sich als Kalkverbindung in gequollenem Zustande in der Milch und wird durch Zusatz von Säuren gefällt. Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man Milch längere Zeit stehen läßt. Dann wird durch Einfluß des Bacterium lacticum der Milchzucker in Milchsäure gespalten, die ebenfalls eine Gerinnung der Milch verursacht, wobei dieselbe eine gallertartige Beschaffenheit annimmt.

Auch durch das Labferment des Magens wird das Kasein gefällt, aber in etwas anderer Weise. Der in der Milch gelöste Kaseinkalk wird zunächst in den noch löslichen Parakaseinkalk übergeführt, der durch weitere Aufnahme von Kalk zu unlöslichem Parakaseinkalk wird und ausfällt, während das Molkeneiweiß in Lösung bleibt. Nach Ausfällung des Kaseins mit Lab bleiben noch in geringerer Menge neben Molkeneiweiß das Laktalbumin und das Laktoglobulin in der Molke zurück.

Das Fett ist in der Milch in Form von feinen Tröpfchen vorhanden. Man nahm früher an, daß die Fettkügelchen von einer feinen Kaseinhaut umgeben seien, weil es unmöglich ist, durch Schütteln mit Aether alles Fett aus der Milch zu erhalten. Nach den Untersuchungen von Soxhlet ist aber die Milch eine Emulsion, indem er zeigen konnte, daß man mittels Alkohol-Aethermischung der Milch alles Fett entziehen konnte, was nicht möglich wäre, wenn eine Kaseinhaut das Fett einschlösse, weil das Kasein in Alkohol unlöslich ist. Der Alkohol verändert nur den Quellungszustand der Lösung, wodurch die Emulsion aufgehoben wird und der Aether an das Fett gelangen kann. Künstliche Emulsionen von Oel und Alkalialbuminaten zeigen dasselbe Verhalten.

Das Milchfett besteht hauptsächlich aus den Triglyzeriden der Palmitin-, Stearin- und Oelsäure, neben geringen Mengen von Glyzeriden der Buttersäure, der Capryl-, Capron- und Caprinsäure. Das Milchfett schmilzt bei 31 bis 33° und erstarrt bei 19 bis 24°. Unter den stickstoffreien Bestandteilen ist neben Spuren von Milchsäure als der wichtigste der Milchzucker zu betrachten. Die Asche besteht hauptsächlich aus den Chloriden und Phosphaten von Kalium, Natrium und Calcium.

Was die verschiedenen Milcharten betrifft, so kommen für die Ernährung der Menschen in erster Linie die Kuhmilch und die Frauenmilch, zuweilen auch die Ziegenmilch und die Schafmilch (letztere zur Käsefabrikation) in Betracht.

β) Milcharten. Der Gehalt der Kuhmilch an den soeben erwähnten Substanzen ist kein konstanter. König gibt folgende mittlere Zusammensetzung an:

	Mittel %	Grenzwerte %
Wasser	87,27	80,32—90,22
Kasein	2,88	1,91— 4,65
Albumin	0,51	0,23— 1,61
Stickstoffsubstanz	3,39	2,07— 6,40
Fett	3,68	1,48— 6,47
Milchzucker	4,94	3,23— 5,68
Asche	0,72	0,50— 1,45

Die Zusammensetzung der Kuhmilch ist nun von einer Reihe von Umständen abhängig, die diese Mittelzahlen in weitem Umfange variieren. Es mögen hier nur die wichtigsten kurz angegeben werden. Der sich interessierende Leser findet ausführliches darüber in Königs Nahrungsmittelchemie Bd. II S. 603. Diese Einflüsse sind die Laktationsperiode, die Brunst, die Rasse und das Alter, das Futter und die Pflege, Bewegung und Arbeitsleistung, Temperatur und Witterung, Art und Zeit des Melkens, Kastration, Uebergang von Giften und Arzneimitteln, Gefrierenlassen und Abkochen.

Die Reaktion der Frauenmilch ist ebenfalls amphoter, aber relativ stärker alkalisch wie die Kuhmilch. Die Zusammensetzung der Frauenmilch, die ebenfalls durch die Laktationsperiode, den Ernährungszustand, das Alter, durch Anstrengungen und Aufregungen beeinflußt werden kann, unter-

Digitized by Google

scheidet sich wesentlich von der Kuhmilch. Die Frauenmilch enthält mehr Albumin im Verhältnis zum Kasein (1:1) wie die Kuhmilch (6:1). Das Kasein der Frauenmilch wird durch Lab nur unvollständig zum Gerinnen gebracht, mit Säuren oder Salzen wird es schwer ausgefällt. Das Gerinnsel des Frauenkaseins ist feinflockig, nicht zusammenhängend und daher leicht verdaulich; die Kuhmilch gerinnt zu dicht zusammengeballten Klumpen. Die Frauenmilch enthält mehr Milchzucker, aber weniger Asche als die Kuhmilch. Durch Verdünnung der Kuhmilch kann man ein feinflockiges Ausfällen des Kaseins erreichen, muß aber dann die Verringerung des Milchzuckers durch künstlichen Zusatz wieder ausgleichen. Die quantitative Zusammensetzung ist nach König S. 598 folgende (Mittel aus 173 Analysen):

	Mittel %	Grenzwerte %
Wasser	87,58	83,88—91,40
Kasein	0,80	0,20— 1,85
Albumin	1,21	0,28— 2,48
Gesamtstickstoffsubstanz	2,01	0,68— 5,02
Fett	3,74	1,27— 6,20
Milchzucker	6,37	3,68— 8,76
Asche	0,30	0,13— 1,87

Die Ziegenmilch ist in ihrer Zusammensetzung der Kuhmilch sehr ähnlich, sie enthält meistens etwas mehr Fett und Albumin als die letztere.

Mittel aus 100 Analysen nach König S. 655: Wasser 86,88%, Kasein 2,87%, Albumin 0,89%, Fett 4,08% Milchzucker 4,64%, Salze 0,85%.

Die Schafmilch dient in Gebirgsgegenden zur Ernährung und wird zur Fabrikation von Käse (Roquefort, Liptauer) benutzt.

Analyse nach König (71 Analysen): Wasser 83,57%, Kasein 4,17%, Albumin 0,98%, Fett 6,18%, Milchzucker 4,17%, Asche 0,93%.

Von anderen Tieren kommt außer Kuh, Ziege, Schaf für die menschliche Ernährung die Milch des indischen Rindes (Zebu, Büffel), Kamelmilch, Renntiermilch, Stuten- und Eselsmilch in Betracht. Die Kamelmilch und die Stutenmilch werden besonders zur Bereitung von alkoholischen Getränken (Kumys) benutzt. Die Eselsmilch kommt manchmal wegen ihrer ähnlichen Zusammensetzung als Ersatz für Frauenmilch in Anwendung.

γ) Konservierung der Milch. Obwohl die Milch bakterienfrei das Euter verläßt, so enthält sie doch kurze Zeit nach dem Melken eine Reihe von Bakterien, die aus der Stallluft, den Händen des Melkers, den Melkgefäßen usw. stammen und sich dort rasch vermehren. Wenn auch im allgemeinen diese Bakterien harmloser Natur sind, so können auch pathogene Bakterien in die Milch gelangen und durch dieselben tierische Infektionskrankheiten auf den Menschen übertragen werden, oder es kann auch die Milch als Transportmittel für die Erreger menschlicher Infektionskrankheiten (Typhus, Diphtherie usw.) dienen.

Die Methoden, um die Milch haltbar zu machen und in ihr vorhandene Bakterien abzutöten oder in ihrer Entwickelung zu hemmen, sind entweder chemische, oder die Anwendung höherer oder niederer Temperatur. Von chemischen Konservierungsmitteln werden hauptsächlich Natriumcarbonat und Natriumbicarbonat, Aetzkalk, Borsäure, Salizylsäure, Formaldehyd usw. verwendet, ohne daß man aber mit Sicherheit eine Haltbarkeit der Milch dadurch erreicht.

Das sicherste Mittel ist ein 15 Minuten langes Erhitzen auf 75° (Pasteurisieren), wodurch die in der Milch vorkommenden pathogenen Bakterien und der größte Teil der Milchbakterien, die Säuerungsbakterien, abgetötet werden. Um die Milch vollkommen zu sterilisieren, müßte diese auf etwa 120° erhitzt werden, wodurch aber eine Aenderung des Aussehens und des Geschmacks eintritt. Deshalb ist im Großbetrieb eine Sterilisation durch überhitzten Wasserdampf in Gebrauch, wodurch die Milch sich wochenlang hält. Für den Hausbedarf genügt ein einmaliges Aufkochen oder für die Kinderernährung die Anwendung des Soxhletschen Apparates. Im hohen Norden ist auch das Gefrierenlassen der Milch zur Konservierung im Gebrauch.

δ) Milchpräparate und Molkereiprodukte. 1. Kondensierte Milch. Milch wird im Vakuum oder auf offenem Feuer in Schalen unter Zusatz von Rohrzucker auf ¼ bis ⅕ ihres Volumens eingedampft, in Blechbüchsen gefüllt und sterilisiert.

2. Alkoholische Getränke aus Milch. Unter Kumys versteht man ein alkoholisches Getränk, welches aus Stuten- oder Kamelmilch durch Einwirkung des Kumysferments entsteht. Das Kumysferment enthält zwei Gärungspilze, einen Milchsäurepilz, der einen Teil des Milchzuckers in Milchsäure verwandelt, die dann den noch vorhandenen Milchzucker in einen gärungsfähigen Zucker invertiert. Dieser wird durch das zweite Ferment (Hefe) in Alkohol und Kohlensäure gespalten. Die Kefirgärung der Kuhmilch wird durch die Kefirkörner hervorgerufen, die ebenfalls ein milchsäurebildendes Ferment enthalten, welche das Kasein zur Gerinnung bringen und zum Teil peptonisieren. Der Rest des Milch-

Digitized by Google

zuckers wird dann wie beim Kumys durch die hefeartigen Saccharomycespilze nach Invertierung vergoren.

3. Butter. Butter ist das erstarrte, aus der Milch abgeschiedene Fett, welchem etwa rund 15% süße oder saure Magermilch in gleichmäßiger und feinster Verteilung beigemischt sind. Dieselbe wird entweder aus süßem Rahm, den beim Zentrifugieren oder beim Stehenlassen an der Oberfläche sich ansammelnden Fetteilchen (Süßrahmbutter) oder nach 2- bis 3tägigem Stehen aus saurem Rahm durch starke mechanische Bewegung erhalten. Durch die heftige Bewegung werden die flüssigen Fetteilchen in die festen übergeführt und zu größeren Massen vereinigt. Aus 25 bis 30 l Milch erhält man durchschnittlich 1 kg Butter. Die Temperatur darf 18° nicht übersteigen. Butter ist ein ausgezeichneter Nahrungsstoff, der gerne genommen, leicht verdaulich und sehr gut ausgenutzt wird.

Die mittlere Zusammensetzung der Butter ist nach König:

Wasser	13,45 %
Fett	83,70 „
Kasein	0,76 „
Milchzucker	0,70 „
Milchsäure	0,12 „
Asche	1,59 „

Gesetzlich darf die Butter nicht unter 80% Fett und nicht über 15% Wasser und 2% Milchzucker und Salze enthalten. Der hohe Salzgehalt ist ein künstlicher und das Salz wird behufs besonderen Geschmacks oder, um die Butter haltbarer zu machen, hauptsächlich in Norddeutschland zugesetzt. Bei längerem Aufbewahren zersetzt sich nämlich die Butter sehr leicht infolge ihres hohen Wassergehalts, der Anwesenheit von Milchzucker und Kasein, durch die Einwirkung von Sonnenlicht, bei ungehindertem Luftzutritt, hoher Temperatur und unter dem Einflusse von Bakterien und Fermenten. Es scheinen nach Soxhlet vorzugsweise die blauen und violetten Strahlen zu sein, die die Zersetzung der Butter hervorrufen und die Butter ranzig machen. Das Ranzigwerden ist bedingt durch eine Spaltung der Triglyzeride der Fettsäuren und weiterer Oxydation der Fettsäuren und des Glyzerins zu flüchtigen und scharf riechenden Stoffen.

Weil die Butter ein so wertvolles, aber auch teures Nahrungsmittel ist, hat man versucht, einen Ersatz für dieselbe durch andere tierische und pflanzliche Fette herzustellen und so ein der Butter ähnliches Produkt zu erhalten. Der französische Chemiker Mège-Mouriès war der erste, der auf Veranlassung Napoleons III. 1867 solches Ersatzmittel herstellte. Dieses Verfahren hat sich dann vervollkommnet und sich zu einer großen Industrie entwickelt. Das Produkt wird heute Margarine genannt und man versteht darunter diejenigen der Milchbutter oder dem Butterschmalz ähnlichen Zubereitungen, deren Fettgehalt nicht ausschließlich der Milch entstammt. Zur Darstellung werden hauptsächlich Oleo-Margarine, das ist ein zum größten Teil von Stearin befreites Rinderfett, verschiedene pflanzliche Oele, Sesamöl, Baumwollensamenöl, Erdnußöl, Mandelmilch und Kuhmilch verwandt. Sie unterscheidet sich in Farbe und Konsistenz fast gar nicht von natürlicher Butter, es fehlt ihr nur der größere Gehalt an leicht flüchtigen Fettsäuren, die der natürlichen Butter den charakteristischen Geschmack und Geruch verleihen.

Neuerdings hat man dann als Ersatz für beide Präparate Pflanzenbutter (Palmin) hergestellt, die dem Kokosnußfett entstammt und hauptsächlich zu Kochzwecken benutzt wird.

Bei der Fabrikation der Butter bleibt nach Ausscheidung des Fettes noch eine an Kasein und Salz reiche, an Fett sehr arme Flüssigkeit übrig, die als Buttermilch in den Handel kommt. Sie enthält immer noch im Mittel 0,85% Fett, 3,75% Eiweiß, 4,15% Milchzucker, ist also ein wertvolles Nahrungsmittel, das größere Beachtung verdiente, aber gewöhnlich als Viehfutter verwandt wird.

4. Käse. Unter Käse versteht man ein durch Gerinnung aus Milch abgeschiedenes, vorwiegend aus Kasein und Parakasein bestehendes und unter dem Einfluß von Bakterien eigentümlich verändertes Nahrungsmittel. Die Art der Zubereitung ist sehr verschieden. Das Kasein wird entweder aus süßer Milch durch Lab oder aus saurer Milch durch Erwärmen und entweder bei niedriger Temperatur gefällt und die Käsemasse keinem oder nur geringem Druck ausgesetzt (Weichkäse) oder bei hoher Temperatur gefällt und stark zusammengepreßt (Hartkäse).

Man unterscheidet: 1. Rahmkäse, ganz aus Rahm oder unter Zusatz von Milch bereitet (Gervais, Neufchateller, Brie, Stilton); 2. Fettkäse aus natürlicher Milch (Holländer, Schweizer, Gorgonzola, Chester, Rockefort und Liptauer [Schafmilch]); 3. Halbfettkäse (Parmesankäse); 4. Magerkäse aus abgerahmter Milch (Parmesankäse).

Der Wohlgeschmack des Käses ist durch die Reifung bedingt. Die Reifung ist eine Zersetzung durch Bakterien, wobei zunächst der Milchzucker zerlegt wird und eine starke Gasentwickelung eintritt (Lochbildung des Käses). Aus dem Kasein entstehen neben peptonähnlichen Stoffen kompliziert zusammengesetzte Aminosäuren, Leucin und Tyrosin, Buthylamin, Aethylamin, Ammo-

Digitized by Google

niak. Auch das Fett wird zum Teil in Glyzerin und Fettsäure gespalten, das Glyzerin wird dann sehr schnell zersetzt, da man in reifen Käsen kein Glyzerin nachweisen kann. Die Reifung des Käses dauert manchmal sehr lange; bei den meisten Käsen bis zu 4 bis 6 Wochen, bei manchen 6 bis 10 Monate, bei Parmesankäse mehrere Jahre.

Die mittlere prozentische chemische Zusammensetzung für die verschiedenen Hauptkäsegruppen ist nach König Bd. II, S. 729:

	Wasser	Eiweiß	Fett	Milchzucker	Asche
Rahmkäse	42,65	14,2	42,33	0,2	1,1
Fettkäse	36,31	26,21	29,53	3,39	4,56
Halbfettkäse	40,22	29,07	24,41	2,06	4,24
Magerkäse	43,06	35,59	12,35	4,22	4,68

3. **Pflanzliche Nahrungsmittel.** Die pflanzlichen Nahrungsmittel, die ihrer Menge nach den Hauptteil der menschlichen Nahrung bilden, unterscheiden sich von den tierischen Nahrungsmitteln nicht dadurch, daß sie andere Nahrungsstoffe enthalten, sondern sie bestehen aus denselben Hauptnahrungsstoffen, Eiweiß, Fett und Kohlehydraten, aber in anderer Form und in anderem Verhältnis. Während bei den tierischen Nahrungsmitteln die Kohlehydrate fast vollständig zurücktreten, überwiegen dieselben bei den Pflanzen in weitestem Maße. Eine Ausnahme bilden die eiweißreichen Hülsenfrüchte und die ölgebenden Samen. Bei den stickstoffhaltigen Pflanzen ist der Stickstoff meistens in Form von Amiden oder Aminosäuren, von Lecithin, Cholin, Betain, Lupinin, Amygdalin, Myronsäure, Solanin usw. enthalten. An Stelle des Kohlehydrats Glykogen tritt Stärke, Trauben- und Rohrzucker, Gummiarten, Dextrine und Zellulose. An Stelle der Cholesterine treten die Phytosterine, in der Asche überwiegen die Kalisalze gegenüber den Natronsalzen.

Unter den Eiweißkörpern der Pflanze finden wir solche wie Albumine und Globuline von denselben Eigenschaften wie die tierischen. Außerdem kommen aber noch vor das Edestin, die phosphorhaltigen Phytovitelline, auch Pflanzenkaseine genannt, darunter das Conglutin der Lupinen, das Glutenkasein des Weizens und das Legumin der Hülsenfrüchte, ferner in Alkohol lösliche Eiweißstoffe, Kleberproteine genannt, Glutenfibrin, Gliadin, Zein, Mucedin, die für die Backfähigkeit des Brotes von Bedeutung sind.

Bei den Pflanzenfetten überwiegen die Triglyzeride der Oelsäure und der niederen Fettsäuren; infolgedessen sind die Pflanzenfette meistens flüssig. Insbesondere kommen darin die Erucasäure, die Laurinsäure, die Ricinusölsäure, die Arachinsäure und andere vor. In Blütenteilen und Früchten findet man auch ätherische Oele und Kohlenwasserstoffe.

Außer den schon erwähnten Kohlehydraten, den Hexosen, findet man auch Stoffe, welche den Hexosen nahestehen, die Arabinose, den Quarcit, den Dulcit, den Mannit; ferner Pectinkörper, Bitterstoffe, Farbstoffe, Gerbstoffe und besonders in den Früchten größere Mengen von organischen Säuren.

3a) Getreide und Mehle. Unter den pflanzlichen Nahrungsmitteln sind an erster Stelle die Getreidefrüchte zu nennen. Ihr jährlicher Verbrauch beträgt pro Kopf der Bevölkerung ungefähr 100 bis 130 kg oder pro Kopf der Erwachsenen 125 bis 200 kg.

Es kommen hauptsächlich in Betracht: der Weizen, der Roggen, die Gerste, der Hafer, der Buchweizen, dazu Reis, Mais und die Hirsearten.

Mittlere chemische Zusammensetzung nach König II, S. 757ff.

	Wasser %	Stickstoffsubstanz %	Rohfett %	N-freie Extraktstoffe %	Rohfaser %	Asche %
Weizen	13,37	12,03	1,85	68,67	2,31	1,77
Roggen	13,37	11,19	1,68	69,36	2,16	2,24
Gerste	12,95	9,68	1,96	68,51	4,40	2,50
Hafer	12,81	10,25	5,27	59,68	9,97	3,02
Mais	13,32	9,58	5,09	67,89	2,65	1,47
Reis	13,17	8,12	1,29	75,50	0,88	1,03
Buchweizen	13,27	11,41	2,68	58,79	11,44	2,38

Digitized by Google

Die Frucht der Getreidearten eignet sich nicht zum direkten Gebrauch, weil ihre wertvollen Nahrungsstoffe von der Samenhülle und Fruchthaut umgeben sind, die als wenig geeignet für die menschliche Ernährung angesehen werden. Durch den Mahlprozeß werden deshalb die Getreidekörner zerkleinert und durch ein besonderes Verfahren von der Hülse (Kleie) das Mehl getrennt.

Chemische Zusammensetzung der wichtigsten Mehle nach König in %.

	Wasser	Stickstoff-Substanz	Fett	Stickstofffreie Substanz	Rohfaser	Asche
Weizenmehl (feines) . .	12,63	10,68	1,13	74,69	0,30	0,52
Roggenmehl	12,58	9,62	1,44	73,84	1,35	1,17
Gerstenmehl	14,06	12,29	2,44	68,47	0,89	1,85
Hafermehl .	9,09	13,87	6,18	67,06	1,71	2,07

3b) Brot. Nur bei den in primitivstem Naturzustande lebenden Völkern wird das Mehl einfach mit kaltem Wasser angerührt und verzehrt. Bei den Kulturvölkern wird das Mehl entweder mit Wasser oder Milch gekocht, wodurch die Zellwandungen der Stärkekörner zerplatzen oder zerreißen, die Stärke durch Wasseraufnahme verkleistert wird, und die Verdauungssäfte leichter auf die Nährstoffe (Stärke, Kleber) einwirken und sie in Lösung bringen können, oder die Mehle werden zu Brot verbacken oder zu Kuchen, Mehlspeisen verwendet.

Zum Brotbacken dient hauptsächlich Weizen- und Roggenmehl. Bei der Brotbereitung werden ebenfalls durch Fermente die Stärkekörner verkleistert und die ganze Masse nimmt infolge der Gegenwart des Klebers eine teigige Beschaffenheit an. Durch die Tätigkeit von diastatischen Fermenten und Hefepilzen wird die Stärke zum Teil in Zucker verwandelt und der Zucker vergoren. Die Kohlensäure, die bei der Gärung entsteht, kann wegen der Elastizität des Teiges nicht entweichen und bewirkt beim Erhitzen eine schwammmige und poröse Beschaffenheit des Brotes; die Entwickelung der Kohlensäure kann auch durch die verschiedensten Gemische mineralischer Salze (Backpulver) veranlaßt werden.

Das Backen des Brotes bewirkt zunächst eine Vergrößerung der Gasblasen im Innern des Teiges und dadurch eine weitere Auflockerung desselben. Ein Teil des Alkohols und der Kohlensäure entweichen, ebenso ein großer Teil des Wassers. Die Albumine gerinnen und der Kleber verliert seine Elastizität und seine Fähigkeit zu quellen und färbt sich dunkel. Die noch unveränderten Stärkekörner werden verkleistert und zum Teil verzuckert. Ein Teil der Stärke, besonders an den Randpartien, wird durch die hohe Temperatur von 200 bis 300° in Dextrin, Zucker und aromatische Röstprodukte verwandelt. Hefe und andere Bakterien, welche eine Zersetzung des Brotes veranlassen könnten, werden durch die hohe Temperatur abgetötet.

Die Zusammensetzung des Brotes ist je nach der Art der Mehlsorte und der Zubereitung eine verschiedene. Als mittlere prozentische Zusammensetzung für die wichtigsten Brotsorten gibt König l. c. II, 878 folgende Zahlen an:

Bezeichnung	Wasser	Stickstoff-Substanz	Fett	Zucker	Stärke usw.	Rohfaser	Asche
Weizenbrot							
feineres . . .	33,66	6,81	0,54	2,01	55,79	0,31	0,88
gröberes . .	37,27	8,44	0,91	3,19	47,80	1,12	1,27
Roggenbrot							
fein	39,70	6,43	1,14	2,51	47,93	0,80	1,49
Pumpernickel .	42,22	7,16	1,30	3,28	43,16	1,48	1,40
Kommißbrot m. 15% Kleie .	38,88	6,04	0,40	3,05	48,85	1,55	1,57
Zwieback							
Schiffs- . .	9,54	9,91	2,55	2,20	73,55	0,55	1,70
fein (Kakes).	7,48	8,80	9,07	17,80	55,64	0,39	0,82

Wir hatten oben gesehen, daß das Mahlverfahren die Trennung der feineren Bestandteile des Getreidekornes von den gröberen Partien der Fruchthaut und der Samenhülle bezweckt. Die letzteren, auch Kleie genannt, werden als wenig nahrhaft und wenig

Digitized by Google

ausnutzbar betrachtet und gewöhnlich nur als Viehfutter verwandt. Man hatte aber auch daran gedacht, die Kleie für die menschliche Ernährung nutzbar zu machen, besonders für die Heeresverpflegung. Einwandfreie Versuche, die Plagge und Lebbin in dieser Richtung anstellten, führten dieselben zu dem Schlusse, daß der angeblich hohe Nährwert der Kleie eine Fabel sei, die aus der Ernährungslehre verschwinden müsse und daß man in der Mühlentechnik es anstreben solle, möglichst vollständig die Schale mit der Kleberzellenschicht zu entfernen, weil Roggenkleie selbst in fein vermahlenem Zustande kein für den menschlichen Organismus geeignetes Nahrungsmittel darstelle. 42% der Trockensubstanz, 56% der Eiweißsubstanzen und 37% der Kohlehydrate gingen durch den Kot verloren.

Da nun die Kleie ungefähr $^1/_4$ des ganzen Getreidekorns ausmacht, so blieb ein großer Teil des Mahlproduktes für die menschliche Ernährung unausgenützt. Der Hygieniker Finkler in Bonn legte sich nun die Frage vor, ob es nicht möglich sei, auf einem anderen Wege die Kleie in einen derartigen Zustand überzuführen, daß sie für den menschlichen Darm ausnutzbar sei.

Finkler ist es nun gelungen, ein Verfahren ausfindig zu machen, die Kleie so fein zu zertrümmern, daß die Zellinhalte aus den Zellulosehülsen der Kleiebestandteile sämtlich herausgebracht und so den Verdauungssäften besser zugänglich gemacht werden. Er hat die Kleie mit kalkhaltigem Wasser unter Zusatz von 1 bis 3% Kochsalz naß vermahlen. Das naß vermahlene Mahlgut wird getrocknet und kann dann zu einem feinen Mehle verarbeitet werden.

Die Zusammensetzung dieses Mehles, des Finalmehles, ist folgende:

Wasser	9,92 %
Eiweiß	17,4 „
Fett	2,8 „
N-freie Extraktstoffe	55,19 „
Rohfaser	7,47 „
Asche	7,22 „

Künstliche Verdauungsversuche mit Pepsin-Salzsäure ergaben nun zunächst eine Verdaulichkeit des Stickstoffs von Finalmehl im Mittel von 97,8%. Ausnutzungsversuche am Menschen mit Brot, das aus Weizenmehl und verschiedenen Mengen von Finalmehl gebacken war, hatten den Erfolg bezüglich des Eiweißes, die Ausnutzung der Kleie gleich der des besten Weizenmehles zu gestalten.

Hagemann hat dann an Tieren, Pferd, Schwein und Hammel, ebenfalls Ausnutzungsversuche unter Benutzung seines Respirationskalorimeters gemacht, die übereinstimmend eine bessere Ausnutzung des Finalmehles gegenüber der Kleie zeigten. Da nun die chemische Zusammensetzung der Kleie und des Finalmehles bezüglich der organischen Substanz keine erheblichen Unterschiede zeigt, so sei nur der mechanische Aufschluß der Kleie bei der Herstellung des Finalmehles als das für die erhöhte Ausnutzung wirksame Moment anzusprechen.

Finkler hat nun, da das Finalmehl für sich allein sich nicht zur Brotbereitung eignet, Finalmehl bis zu 25% reinem Mehl beigemengt und daraus ein Gemenge erhalten, welches sich zu einem Teige und zu einem schönen lockeren Brote verarbeiten läßt, welches dem sogenannten Graubrote ähnlicht und sehr gut vertragen wird. Dieses Finalbrot stellt das Brot dar, welches alle Bestandteile des Korns verwertet und ist ein Vollkornbrot im eigentlichen Sinne des Wortes.

Es ist zu hoffen, daß die Bestrebungen Finklers von anderer Seite weitergeführt und die für die Volksernährung so wichtige Brotfrage weiter gefördert wird.

3c) Mehlpräparate. Außer dem Mehl, welches zur Bereitung von Brot und Backwaren dient, kommen noch eine Reihe von präparierten Mehlen in den Verkehr, welche hauptsächlich ihre Anwendung in der Küche finden.

Darunter sind zunächst die Stärkemehle zu nennen, welche ein weißes lockeres Pulver mit 20% Wasser bilden und je nach ihrer Herkunft aus Kartoffel, Reis, Mais usw. unterschieden werden. Zuweilen wird die Stärke teilweise verkleistert und zu Körnchen geformt (Sago). Präparierte Mehle sind entweder feine Mehle für sich oder Mischungen solcher mit verschiedenen Substanzen, je nach dem Zweck, dem sie dienen sollen. Kindermehle sind meistens Gemische von kondensierter Milch mit präparierten Mehlen, in welchen die Stärke derselben zum Teil in eine lösliche Form, Dextrin, Zucker, übergeführt ist. In manchen Fällen ist aber der größte Teil der Stärke nicht aufgeschlossen und da dem Kinde in den ersten 3 Monaten ein stärkelösendes Enzym fehlt, so ist vor dem Gebrauch solcher Präparate in diesem Alter entschieden zu warnen.

Unter Teigwaren (Maccaroni, Nudeln, Suppeneinlagen) versteht man Präparate aus kleberreichem Weizen, Weizenmehl oder Gries, die mit Wasser unter Zusatz von Eiern und Salz zu einem steifen Teig angerührt, durch besondere Formen gepreßt und scharf getrocknet werden.

3d) Leguminosen (Hülsenfrüchte). Von den bisher besprochenen pflanzlichen Nahrungsmitteln, den Getreidekörnern, unterscheidet sich in vieler Hinsicht eine zweite große Hauptgruppe, die Samen der Hülsen-

Digitized by Google

früchte, die Leguminosen. Sie sind vor allem durch einen hohen Gehalt an Stickstoffsubstanz (Eiweiß) ausgezeichnet. Während bei den Getreidekörnern der Gehalt an Eiweiß auf höchstens 12% steigt, enthalten die Leguminosen Eiweißmengen von 20 bis 25% und mehr. Auch die Art der Eiweißstoffe ist verschieden. Bei den Getreidekörnern sind es hauptsächlich Kleberproteine, bei den Hülsenfrüchten hauptsächlich Pflanzenkasein, das Legumin, in geringerer Menge auch Albumin.

Nach einer Reihe von Versuchen betrachtet man die Hülsenfrüchte als schwer verdaulich und schwer ausnutzbar. Dies hat seine Richtigkeit, wenn die Hülsenfrüchte, wie es meistens geschieht, als ganze Frucht genossen werden, bei denen die Nährstoffe in feste Zellen eingeschlossen bleiben und außerdem die Früchte in ungeschältem Zustande von einer Schale umschlossen sind, die der Verdauung widersteht. Wenn aber die Leguminosen zerkleinert und fein gemahlen werden, dann ist ihre Ausnutzbarkeit gerade so groß wie die der Getreidemehle. Man hat deshalb auch neuerdings Leguminosenmehle hergestellt und sie zu Konserven verarbeitet. Ein Teil der in dem Handel vorkommenden sogenannten künstlichen Eiweißpräparate besteht übrigens in mehr oder minder großen Mengen aus Leguminosenmehl.

Die prozentische Zusammensetzung der wichtigsten Hülsenfrüchte ist nach König l. c. II, 783ff:

	Wasser	Stickstoff-Substanz	Fett	Stickstoff-freie Extraktstoffe	Rohfaser	Asche
Feldbohnen	14,00	25,68	1,68	47,29	8,25	3,10
Gartenbohnen (Vitsbohnen)	11,24	23,66	1,96	55,60	3,88	3,66
Erbsen	13,80	23,35	1,88	52,65	5,57	2,75
Linsen	12,33	25,94	1,93	52,84	3,92	3,04
Sojabohnen (Japan)	10,14	33,74	19,15	27,05	4,68	5,24

3e) Oelgebende Samen und Pflanzenöle. Die ölgebenden Samen werden nur zum Teil, wie Mohn, Sonnenblumensamen, Samenschale der Kokosnuß, Wall- und Haselnuß, Paranuß, Mandeln usw. direkt vom Menschen genossen, meistens werden sie zur Bereitung von Pflanzenölen benutzt, indem man entweder die Samen mechanisch zerquetscht und auspreßt oder aber durch Schwefelkohlenstoff oder Petroläther das Fett extrahiert. Der Fettgehalt der Samen kann in manchem Falle bis über 50% steigen. Die wichtigsten Oele sind Olivenöl, Erdnußöl, Sesamöl, Baumwollensamenöl, Rüböl, Kokosöl (Palmin).

Prozentische Zusammensetzung der wichtigsten ölgebenden Samen, die als Früchte von dem Menschen verzehrt werden, nach König Bd. II, S. 801.

	Wasser	Stickstoffsubstanz	Rohfett	N-freie Extraktstoffe	Rohfaser	Asche
Haselnußkerne	7,11	17,41	62,60	7,22	3,17	2,49
Wallnußkerne	7,18	16,74	58,47	12,99	2,97	1,65
Mandeln	6,27	21,40	53,16	13,22	3,65	2,30
Eßkastanie (geschält)	7,22	10,76	7,22	69,29	2,84	2,67

3f) Wurzelgewächse und Gemüse. Sie zeichnen sich durch einen sehr hohen Wassergehalt (70 bis 90%) aus. Die Stickstoffsubstanz besteht bis zu 50% aus nicht eiweißartiger Substanz. Es überwiegen die Kohlehydrate, und zwar meistens Stärke, Zucker oder zuweilen Inulin. Unter den Wurzelgewächsen ist am wichtigsten die Kartoffel. Sie kam Ende des 16. Jahrhunderts nach Europa.

Ihre mittlere prozentische Zusammensetzung ist nach König l. c. II, 892:

Wasser	74,93 %
N-Substanz	1,99 „
Fett	0,15 %
N-freie Extraktstoffe (Stärke)	20,68 „
Rohfaser	0,98 „
Asche	1,09 „

Von den übrigen Wurzelgewächsen mögen noch erwähnt werden die Runkelrübe, Zuckerrübe, Kohlrabi, Rettig, Radieschen, Schwarzwurzel, Meerrettig, Sellerie, Zwiebel, Spargel usw. Sie zeichnen sich zum Teil durch pikant schmeckende oder riechende Stoffe aus und sind ebenfalls sehr wasserreich und sehr arm an Eiweiß und Kohlehydraten. Im Spargel findet sich Asparagin, im Knoblauch

Digitized by Google

Schwefelallyl, in Rettigen, Radieschen, Meerrettig und Zwiebel Senföl.

Zu den Gemüsen gehören die verschiedenen Kohlarten, der Spinat, die Schotengemüse, Kürbis, Gurke, Melone, Tomate und die verschiedenen Salatarten. Ferner rechnet man dazu noch die Pilze und Schwämme, die sich neben 90% Wasser durch einen sehr hohen Stickstoffgehalt auszeichnen und früher bezüglich ihres Nährwertes dem Fleisch gleichgestellt wurden. Aber systematische Ausnutzungsversuche zeigten, daß sie schwer verdaulich und einzelne darunter sehr giftig sind.

Uebersichtstabelle über die Zusammensetzung der Wurzelgewächse und Gemüse nach König:

Bezeichnung	Wasser %	Stickstoffsubstanz %	Fett %	Zucker %	N freie Extraktstoffe %	Rohfaser %	Asche %
Wurzelgewächse							
Kartoffel	74,93	1,99	0,15	—	20,68	0,98	1,09
Futterrübe	88,00	1,26	0,13	6,33	2,35	0,89	1,04
Zuckerrübe	81,34	1,24	0,10	13,25	1,92	1,16	0,99
Möhre	86,77	1,18	0,29	6,14	2,92	1,67	1,03
Kohlrübe	88,88	1,39	0,18	3,02	4,35	1,44	0,74
Einmachrotrübe	88,05	1,50	0,1	0,50	7,78	1,07	1,00
Kleine Speisemöhre	88,84	1,07	0,21	1,58	6,59	0,98	0,73
Teltower Rübchen	81,90	3,52	0,14	1,24	10,10	1,82	1,28
Kohlrabi	85,89	2,87	0,21	0,38	7,80	1,68	1,17
Rettig	86,92	1,92	0,11	1,53	6,90	1,55	1,07
Radieschen	93,34	1,23	0,15	0,88	2,91	0,75	0,74
Schwarzwurzel	80,39	1,04	0,50	2,19	12,64	2,27	0,99
Sellerie	84,90	1,48	0,39	0,77	11,03	1,40	0,84
Meerrettig	76,72	2,73	0,35	—	15,89	2,78	1,53
Zwiebel	86,51	1,60	0,15	2,70	7,68	0,71	0,65
Gemüse							
Gurke	95,36	1,09	0,11	1,12	1,09	0,78	0,45
Spargel	93,72	1,95	0,14	0,37	2,03	1,15	0,64
Grüne Gartenerbsen	77,67	6,59	0,52	12,42		1,94	0,85
Grüne Buffbohnen	84,07	5,43	0,33	7,35		2,08	0,74
Schnittbohnen	88,75	2,72	0,14	1,16	5,44	1,18	0,61
Blumenkohl	90,89	2,48	0,34	1,21	3,34	0,91	0,83
Grünkohl	80,03	3,99	0,90	1,21	10,42	1,88	1,57
Rosenkohl	85,63	4,83	0,46	—	6,22	1,57	1,29
Rotkraut	90,06	1,83	0,19	1,74	4,12	1,29	0,77
Weißkraut	90,11	1,83	0,18	1,92	3,13	1,05	1,18
Spinat	89,24	3,71	0,50	0,10	3,51	0,94	2,00
Salate							
Endiviensalat	94,13	1,76	0,13	0,76	1,82	0,62	0,78
Kopfsalat	94,33	1,41	0,31	0,10	2,09	0,73	1,03
Feldsalat	93,41	2,09	0,41	—	2,73	0,57	0,79
Pilze							
Champignon (frisch)	89,70	4,88	0,20	1,11	2,46	0,83	0,82

3g) Obst- und Beerenfrüchte. Sie sind gleichzeitig Nahrungsmittel durch ihren Gehalt an Zucker, und Genußmittel durch ihren Gehalt an Säuren und aromatischen Substanzen. Die Kohlehydrate bestehen hauptsächlich aus Traubenzucker und Fruchtzucker, weniger Rohrzucker, die organischen Säuren aus Aepfelsäure, Zitronensäure und Weinsteinsäure. Ferner kommen darin noch die Pektinstoffe und geringe Mengen von Pflanzeneiweiß vor.

Prozentische Zusammensetzung der wichtigsten Obstsorten und Früchte nach König siehe nächste Seite.

Da frisches Gemüse und Obst nur eine begrenzte Haltbarkeit haben, so hat man von jeher eine Reihe von Verfahren benutzt, um dieselben für längere Zeit zu konservieren. Diese beruhen im wesentlichen auf denselben Prinzipien wie die für Fleischkonservierung.

1. Trocknen. Die frischen Gemüse werden mehrmals durch kochendes Wasser gezogen, dann getrocknet und gepreßt. Obst wird entweder geschält oder ungeschält in Scheiben geschnitten und auf Hürden durch künstliche Wärme getrocknet.

2. Sterilisieren durch Erhitzen und Aufbewahren unter Luftabschluß in zugelöteten Büchsen oder durch Gummischeiben gedichteten Gläsern.

Digitized by Google

Bezeichnung	Wasser	Stickstoffsubstanz	Freie Säure	Invert-Zucker	Rohrzucker	Sonstige N-freie Stoffe	Rohfaser u. Kerne	Asche
Aepfel	84,37	0,40	0,70	7,97	0,88	3,28	1,98	0,42
Birnen	83,83	0,36	0,20	7,11	1,50	3,37	2,82	0,31
Pflaumen	78,60	1,01	0,77	8,78	—	4,04	5,81	0,49
Pfirsiche	81,96	0,93	0,72	3,66	4,45	1,17	6,53	0,58
Aprikosen	84,15	0,86	1,05	2,61	4,05	1,35	5,37	0,56
Kirschen	80,57	1,21	0,72	8,94	0,51	1,76	5,77	0,52
Weintrauben	79,12	0,69	0,77	14,96	—	1,90	2,18	0,48
Erdbeeren	86,99	0,59	1,10	5,13	1,11	2,80	1,56	0,72
Himbeeren	85,02	1,36	1,48	3,38	0,91	0,99	6,37	0,49
Heidelbeeren	80,85	0,78	1,37	5,29	—	0,71	10,29	0,71
Preißelbeeren	89,59	0,12	2,34	1,53	—	6,27		0,15
Johannisbeeren	84,31	0,51	2,24	6,38	0,06	1,21	4,57	0,72
Stachelbeeren	85,61	0,47	1,37	7,10	0,85	0,64	3,52	0,44
Feigen	78,93	1,35	—	15,55	—	—	—	0,58
Apfelsinen	84,26	1,08	1,35	2,79	2,86	7,23		0,43

3. Einmachen in Salz, Essig, Zucker oder Alkohol.

4. Aufbewahren in kalten Räumen.

5. Ueberziehen mit Paraffin oder Einlegen in Oel.

3h) Fruchtsäfte und Süßstoffe. Unter Fruchtsäften versteht man die Flüssigkeiten, welche durch einfaches Ausfließen oder durch Auspressen aus rohen oder gekochten Früchten erhalten werden. Dieselben werden entweder wie der Himbeersyrup der freiwilligen Gärung überlassen oder mit Zucker versetzt oder eingekocht (Fruchtsyrupe, Fruchtgelees, Apfelkraut usw.).

Wenn der Saft mit dem Fruchtfleisch zusammen nach Zusatz von Zucker verarbeitet wird, so gewinnt man die Marmeladen, Jams, Obstkraute. Zu den Fruchtsäften sind auch die Limonaden und alkoholfreien Getränke zu rechnen. Dieselben sind Mischungen von Fruchtsäften und Wasser mit Zusatz von Rohrzucker.

Zur Gruppe der Süßstoffe gehört der Rohrzucker, gewöhnlich Zucker genannt, der Stärkezucker, der Honig und die künstlichen Süßstoffe.

Der Rohrzucker wird entweder aus Zuckerrohr oder Zuckerrüben dargestellt.

Der Zuckerverbrauch beträgt pro Jahr und Kopf der Bevölkerung in Deutschland 14 kg, in England 40 kg. Behufs Gewinnung wird aus den Rüben durch Auslaugen ein Saft erhalten. Durch Behandlung mit Kalk oder Strontianit und Eindampfen gewinnt man den Rohzucker, den man raffiniert und auskristallisieren läßt.

Der Stärkezucker wird durch Erhitzen von Kartoffel- oder Maisstärke mit verdünnter Schwefelsäure hergestellt, die die Stärke invertiert. Er wird als Zusatz bei der Bierfabrikation benutzt oder findet Verwendung in Konditoreien und in der Küche.

Der Honig ist der aromatische, zuckerreiche Saft, der von den Bienen aus den verschiedensten Blüten gesammelt, im Magen der Bienen verarbeitet und in den Waben zum Zwecke der Ernährung wieder abgelagert wird.

Frisch ausgelassener Honig ist klar und durchsichtig, er trübt sich aber allmählich und erstarrt nach einiger Zeit zu einer mehr oder weniger kristallinischen Masse. Je nach der Abstammung unterscheidet man Lindenblütenhonig, Akazienhonig, Coniferenhonig. Als der beste gilt der von Lindenblüten, Heidekraut, Buchweizen. Der Coniferenhonig ist dunkel gefärbt, weniger süß und hat einen eigentümlichen, terpentinartigen Geschmack und Geruch.

Der aus den Blüten gesammelte Zucker ist Rohrzucker, der durch ein besonderes Ferment im Bienenkörper invertiert wird. Infolgedessen ist der Honig eine wässerige Lösung von Invertzucker, in welcher aber die Fruktose, der linksdrehende Anteil, meist überwiegt. Außerdem enthält er noch Rohrzucker, Dextrine (Achroodextrin), ferner geringe Mengen gummiähnlicher Stoffe, stickstoffhaltige Substanzen, organische Säuren, aromatische Stoffe und Salze, hauptsächlich Phosphate. Gewöhnlich ist der Honig linksdrehend, es gibt aber auch rechtsdrehende Honigarten.

Die mittlere prozentische Zusammensetzung ist nach König l. c. Bd. II, S. 998:

Wasser	18,96 %
Stickstoffsubstanz	1,08 „
Glukose	36,20 „
Fruktose	37,11 „
Invertzucker	73,31 „
Rohrzucker	2,63 „
Dextrine	2,89 „
Ameisensäure	0,11 „
Sonstige organische Stoffe	0,58 „
Asche	0,24 „

Digitized by Google

Der Bienenhonig wird vielfach verfälscht, durch Zusatz von Wasser, Melasse, Rohrzucker, Invertzucker; oder die Bienen werden im Sommer mit Zuckerwasser gefüttert.

Zu den Süßstoffen im weiteren Sinne des Wortes sind auch die künstlichen Süßstoffe zu rechnen, die keine Kohlehydrate sind, aber einen süßen Geschmack haben.

Die wichtigsten sind Saccharin, Dulcin, Glucin.

Das Saccharin, Benzoesäuresulfimid, ist ein weißes Pulver, welches in Wasser schwer löslich ist. In den Handel kommt gewöhnlich das Natriumsalz (Kristallose), welches in Wasser leicht löslich ist. Es ist etwa 500mal süßer als Rohrzucker. Es wird sehr viel als Süßstoff von Zuckerkranken benutzt; als Süßstoff bei der Bereitung von Nahrungs- und Genußmitteln ist der Gebrauch desselben verboten. Die anderen Süßstoffe, das Dulcin, Paraphenetolcarbamid, und das Glucin, das Natriumsalz eines Gemisches der Mono- und Disulfosäure einer Verbindung von der Zusammensetzung $C_{19}H_{16}N_4$, sind ebenfalls 300- bis 400mal süßer als Rohrzucker, kommen aber wenig in den Handel.

4. Genußmittel. 4a) Gewürze. Unter Gewürzen versteht man gewisse Pflanzenteile, die durch besondere Bestandteile, flüchtige ätherische Oele, aromatische Stoffe und Harze, scharfschmeckende Stoffe imstande sind, den Speisen einen besonderen Geruch oder Geschmack zu verleihen und anregend auf die Absonderung der Verdauungssäfte zu wirken.

1. Pfeffer. Man unterscheidet schwarzen oder weißen Pfeffer. Der schwarze Pfeffer ist die unreife getrocknete Frucht, der weiße die reife, von dem äußeren Teil der Fruchtschale befreite Frucht von Piper nigrum. Der scharfe Geschmack des Pfeffers ist bedingt durch ein ätherisches Oel und durch den Gehalt an Piperin.

2. Cayenne-Pfeffer (Paprica, spanischer Pfeffer) ist die getrocknete reife rote Frucht von Capsicum annuum. Das Pulver wird aus den trockenen Früchten hergestellt, die scharf schmeckende Substanz ist das Capsicin.

3. Nelkenpfeffer (Piment) ist die getrocknete nicht völlig reife Frucht von Pimenta officinalis. Der Geschmack wird bedingt durch das Nelkenpfefferöl, welches aus einem Kohlenwasserstoff und der Nelkensäure, dem Eugenol besteht, welches auch in den Gewürznelken vorkommt.

4. Gewürznelken sind die nicht vollständig entfalteten, getrockneten Blüten resp. Blütenknospen von Caryophyllus aromaticus. Sie enthalten bis zu 25% ätherisches Oel, das Nelkenöl. Dasselbe besteht aus dem Eugenol $C_{10}H_{12}O_2$ und einem Kohlenwasserstoff $C_{10}H_{24}$. Ferner finden sich noch das Caryophyllin und Spuren von Vanillin darin.

5. Senfmehl wird aus den Samen von Sinapis brassica (weiß) und Sinapis nigra (schwarz) hergestellt. Der eingemachte Senf ist aus dem Senfmehl unter Zusatz von Essig, verschiedenen Gewürzen, wie Zimt, Nelken, Zucker, Cayennepfeffer (engl. Senf) zubereitet. Der scharfe Geruch ist verursacht durch das Senföl C_3H_5NCS. Das Senföl kommt im Senf nicht fertig gebildet vor, sondern es entsteht neben Glukose und Kaliumbisulfat durch Einwirkung des Fermentes Myrosin bei Gegenwart von Wasser aus dem im Senf vorkommenden Glykosid, dem Sinigrin oder myronsaurem Kali.

6. Zimt ist die von der Oberhaut und dem darunter liegenden Schleimgewebe befreite braunrote Rinde mehrerer Cinnamomumarten. Der Geschmack ist bedingt durch das Zimtöl (1%), welches aus dem Zimtaldehyd ($C_6H_5—CH=CH—CHO$) und einem Kohlenwasserstoff besteht.

7. Vanille ist die nicht völlig ausgereifte und getrocknete Schotenfrucht von Vanilla planifolia. Der charakteristische Geruch und Geschmack ist einerseits bedingt durch das Vanillin, andererseits durch die Gegenwart unbekannter aromatischer Stoffe. Das Vanillin ist ein Aldehyd der aromatischen Reihe und ist künstlich von Tiemann aus Coniferin, Guajakol und Eugenol dargestellt worden. Außerdem finden sich in der Vanille noch Benzoesäure und Vanillinsäure. Das künstliche Vanillin ersetzt jetzt häufig die natürliche Vanillefrucht.

8. Muskatblüte (Macis) ist der getrocknete Samenmantel von Myristica fragans und Muskatnuß ist der Samenkern derselben. Beide enthalten ätherische Oele und in großen Mengen Muskatbutter, das Triglycerid der Myristinsäure.

9. Safran besteht aus den getrockneten Blütennarben von Crocus sativa. Es dient hauptsächlich zum Färben (Farbstoff = Crocin) und wird nur selten als Gewürz mehr benutzt. Sein besonderer Geruch und Geschmack ist durch ein zur Gruppe der Terpene gehöriges ätherisches Oel bedingt.

10. Ingwer ist der gewaschene, getrocknete und von den äußeren Gewebsschichten befreite Nebenwurzelstock (Rhizom) der Ingwerpflanze (Zingiber officinale). Er wird entweder als Gewürz getrocknet oder eingemacht oder verzuckert genossen. Der Geschmack ist durch das Ingweröl, ein Terpen von der Formel $C_{15}H_{24}$ bedingt. Außerdem enthält die Wurzel aber noch große Mengen von Stärke.

11. Anis sind die getrockneten Spaltfrüchte von Pimpinella Anisum. Das den Geschmack bedingende ätherische Oel ist

Digitized by Google

das Anisöl. Dasselbe besteht aus dem Anethol ($C_{10}H_{12}O$) und einem dem Terpentin isomeren Terpen ($C_{10}H_{16}$).

12. Kümmel ist die getrocknete Spaltfrucht von Cavum Carvi. Das ätherische Oel desselben besteht aus einem Gemenge von Carven ($C_{10}H_{16}$) und Carvol ($C_{10}H_{14}O$).

13. Fenchel ist die Frucht des Fenchelkrautes (Foeniculum officinale). Das Fenchelöl besteht aus einem Terpen ($C_{10}H_{16}$) und dem Anethol ($C_{10}H_{12}O$).

Anis, Kümmel, Fenchel und Koriander gehören zu einer Gruppe und werden entweder zu Backwerk, in der Küche oder zur Likörfabrikation benutzt. Erwähnt seien schließlich noch einige seltener angewandte Gewürze, wie Sternanis, Kapern, Cardamomen, Lorbeerblätter, Majoran usw.

Zu den Gewürzen im weiteren Sinne des Wortes gehört auch das Kochsalz und der Essig. Unter Essig versteht man entweder das durch Essiggärung aus alkoholischen Flüssigkeiten entstandene oder durch Verdünnung von Essigsprit hergestellte Genußmittel. Je nach der Herkunft unterscheidet man Weinessig, Bieressig, Branntweinessig usw. Essigessenz ist eine hochprozentige aus essigsaurem Kalk dargestellte Essigsäure, die bei der trockenen Destillation des Holzes gewonnen wird.

4b) Alkaloidhaltige Genußmittel. Während die bisher besprochenen, aus dem Pflanzenreich stammenden Gewürze direkt auf die Verdauungssäfte einwirken, müssen die alkaloidhaltigen Genußmittel erst resorbiert werden und üben dann durch ihren Alkaloidgehalt eine anregende oder auch betäubende Wirkung auf das Zentralnervensystem aus. Zu ihnen gehören als die wichtigsten Kaffee, Tee, Kakao (Schokolade), Tabak, Kolanuß, Kokablätter, Opium.

α) Kaffee sind die Samen von mehreren zur Familie der Rubiaceen gehörigen Pflanzen, Coffea arabica und Coffea liberica. Die Kaffeebohnen des Handels sind die von der Fruchtschale, der äußeren und zum Teil auch der inneren Samenhaut befreiten Samenkerne des Kaffeebaumes. Der Genuß des Kaffees ist erst im 16. und 17. Jahrhundert in Europa bekannt geworden. Die Hauptproduktionsländer sind Arabien, Java und Amerika. Der wichtigste Bestandteil der Kaffeebohne ist das Coffein (1 bis 1,5%). Ferner kommen darin vor Zucker (9%), die Kaffeegerbsäure an Kali und Coffein gebunden, Fette, Oele und Mineralstoffe.

Die Kaffeebohne wird nicht im rohen Zustande genossen, sondern vorher bei 200 bis 250° geröstet. Durch den Röstprozeß geht der Zucker in Karamel über, Fett, Kaffeegerbsäure und Rohfaser werden zersetzt und zum Teil in aromatische Röstprodukte verwandelt, ein Teil des Coffeins verflüchtigt sich. Die Zusammensetzung der aromatischen Röstprodukte ist nicht näher bekannt. Außerdem findet ein Wasserverlust und Volumvermehrung statt. Wir verwenden von dem gebrannten Kaffee nur den wässerigen Extrakt. Die Menge der in Wasser löslichen Stoffe beträgt ungefähr 28%; davon sind nach König Coffein 1,74%, Oel 5,18%, stickstofffreie Extraktstoffe 14,52%, Asche 4,06%. In einer Tasse Kaffee (15 g auf 200 ccm Wasser) genießen wir 0,26 g Coffein. Als Ersatzmittel für Kaffee dienen in vielen Fällen pflanzliche Stoffe, welche geröstet und gezuckert beim Aufguß mit Wasser ein dem Kaffee ähnliches Getränk liefern. Sie haben aber mit dem echten Kaffeeaufguß nur die dunkle Farbe und den brenzlichen Geschmack gemein, es fehlt ihnen aber das Alkaloid. Die wichtigsten sind Cichorien-, Feigen-, Malz-, Gerstenkaffee. Zuweilen setzt man beim Rösten des Kaffees bis zu 5% Zucker (Glasieren) hinzu oder macht künstlich aus Mehl und Extrakt Kaffeebohnen. Neuerdings sucht man durch eine besondere Behandlung dem Kaffee das Coffein zu entziehen und bringt solchen Kaffee als koffeinfreien Kaffee in den Handel. Derselbe enthält aber immer noch nicht unbedeutende Mengen von Coffein.

β) Tee besteht aus den getrockneten Blattknospen und Blättern des Teestrauches, Thea chinensis und seiner Spielarten. Zur Bereitung des grünen Tees werden gleich nach dem Einsammeln die Blätter gerollt, an der Sonne getrocknet und in Pfannen über schwachem Feuer geröstet, wobei das Chlorophyll nicht zerstört wird. Beim schwarzen Tee bleiben die gepflückten Blätter mehrere Tage liegen, bis sie welk werden und gerollt werden können. Dann machen sie einen eigentümlichen Gärungsprozeß durch, bei welchem sich das Tearoma entwickelt, eine Abnahme der Gerbstoffe stattfindet und das Chlorophyll zerstört wird. Alsdann werden die Blätter in eisernen Pfannen auf dem Feuer getrocknet. Die wichtigsten Bestandteile des Tees sind nach König II, S. 1102:

Wasser	8,46 %
Stickstoffsubstanz	24,13 „
Thein	2,79 „
Aetherisches Oel	0,68 „
Fett	8,24 „
Gerbsäure	12,35 „
Asche	5,93 „

Von den Bestandteilen sind in Wasser löslich 38,76%, darunter 11,68% Stickstoffsubstanz und 1,43% Thein = Coffein. Wenn man für eine Portion Tee 5 g rechnet, so finden sich darin nur 0,07 g Coffein, also

Digitized by Google

bedeutend weniger als im Kaffeeaufguß. In Südamerika werden die Blätter des Yerbastrauches für den Teegenuß präpariert (Paraguay-Tee). Derselbe hat eine ähnliche Zusammensetzung wie der chinesische Tee.

γ) Kakao oder vielmehr Kakaobohnen sind die Samen des Kakaobaumes (Theobroma cacao). Sie liegen in dem rötlich-gelben Fruchtmuß der gurkenähnlichen Frucht. Die bohnenförmigen Samen werden, nachdem sie vom Fruchtmuß befreit sind, entweder direkt an der Sonne getrocknet und liefern dann die bitter schmeckenden ungerottenen Bohnen, oder man läßt sie mehrere Tage in Haufen oder Trögen eine Art Gärung durchmachen und trocknet sie dann. Die gerotteren Bohnen haben einen milden aromatischen Geschmack. Die Kakaobohnen werden für den menschlichen Genuß bei 100° geröstet und der geröstete Kakao durch besondere Apparate von Schalen und Häutchen befreit. Die reinen Bohnen werden dann in mäßig erwärmten Granitwalzen gemahlen. Nach dem Erkalten erstarrt das Ganze zu einer braunen Masse, der Kakaomasse. Sie enthält ungefähr 50% Fett (Kakaobutter), 14 bis 18% Stärke, 0,6% Zucker, 13 bis 18% Eiweiß, 1,2 bis 1,5% Theobromin, 5 bis 6% Wasser. Außerdem sollen noch geringere Mengen von Coffein darin vorkommen. Das Theobromin ist ein dem Coffein ähnlich zusammengesetzter Körper. Das Kakaofett besteht aus den Triglyceriden der Oel-, Laurin-, Palmitin-, Stearin- und Arachinsäure. Die Farbe des Kakaos ist durch das Kakaorot bedingt.

Die Kakaomasse als solche wird nicht zu Genußzwecken benutzt, sondern es wird ihr durch Auspressen die Hälfte des Fettes entzogen und sie einer Behandlung mit Kalium-, Ammonium- oder Magnesiumkarbonat unter hohem Dampfdruck unterworfen. Derartig aufgeschlossener Kakao bildet dann bei der Bereitung eines Getränkes mit heißem Wasser eine Art Emulsion. Wegen seines hohen Gehalts an Nährstoffen ist der Kakao nicht nur ein Genußmittel, sondern auch ein Nährmittel. Den Nährwert sucht man noch zu erhöhen, indem man Eiweißpräparate, Hafermehle, Malzextrakt usw. zusetzt. Außerdem bereitet man aus Kakaomasse durch Mischung mit Zucker und Gewürzen die Schokolade, die manchmal noch einen Zusatz von Milch oder auch von Eiweißpräparaten erhält.

δ) Tabak. Zu den alkaloidhaltigen Genuß- und Reizmitteln wird auch im weiteren Sinne der Tabak gerechnet. Er besteht aus den reifen fermentierten und getrockneten Blättern von Nicotiana tabacum. Das Rauchen der Tabakblätter wurde zuerst von Columbus auf Cuba beobachtet. Im Jahre 1560 kam der Tabakgenuß durch J. Nicot nach Frankreich. In Europa war anfangs der Tabakgenuß strenge verboten. Die reifen Tabakblätter werden nach dem Abflücken und Sortieren durch Aufhängen in Trockenräumen getrocknet und dann zusammengelegt. Dabei findet eine starke Erwärmung und Zersetzung statt. Die Zusammensetzung der Tabakblätter ist im Mittel nach König II S. 1131:

Wasser	8,14 %
Gesamt-N	3,68 „
Nikotin	2,09 „
Ammoniak	0,41 „
Salpetersäure	0,86 „
Fett	4,50 „
Asche	20,73 „

Der wichtigste Bestandteil ist das Nikotin. Das Nikotin ist ein farbloses Oel von starkem Geruch. Es ist in reinem Zustande ein heftiges Gift, welches zuerst Erregung, dann Lähmung hervorruft.

Für die Bedeutung des Tabaks als Genußmittel kommen, da der Tabak meistens verbrannt wird und die flüchtigen Substanzen in die Atemluft gelangen, in erster Linie die Rauchprodukte in Betracht. Im Tabakrauch sind außer Nikotin, (etwa 75% desselben gehen in den Rauch über), brenzliches Oel, brenzliches Harz, Ammoniak, verschiedene organische Säuren, Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyd, Spuren von Blausäure, Pyridinbasen usw.

Für den Wohlgeschmack und die Güte des Tabaks wie für die Schwere desselben scheint nicht allein der Nikotingehalt, sondern auch das Vorhandensein von aromatischen Substanzen maßgebend zu sein, die entweder schon im Tabaksblatt sind oder erst bei der Verbrennung entstehen. Die wohltätigen Wirkungen des Tabakrauchens bestehen in einer gewissen Anregung und einer Aufhebung des Zustandes der Erschöpfung. Der übertriebene Tabaksgenuß führt zu Erkrankungen des Herzens, Magenstörungen, Erkrankungen der Netzhaut (Tabaksamblyopie) usw.

4c) Alkoholische Genußmittel. Die alkoholischen Genußmittel gehören ebenfalls zu den Stoffen, welche erst nach ihrer Aufnahme ins Blut durch Vermittlung des Zentralnervensystems ihre Wirkung entfalten, und zwar ist es der Alkohol, der in geringen Dosen eine Anregung, in größeren eine Betäubung zur Folge hat.

α) Bier ist ein durch weinige Gärung aus Gerstenmalz oder für bestimmte Biersorten auch aus Weizenmalz unter Zuhilfenahme von Wasser, Hopfen und Hefe hergestelltes, teilweise vergorenes und noch in schwacher Nachgärung befindliches Getränk, das neben Alkohol und Kohlensäure noch gewisse Mengen unvergorener, aber teils

noch vergärbarer Extraktivstoffe enthält. Die für die Bierbereitung wichtigsten Rohstoffe sind das Wasser, die Gerste, der Hopfen und die Hefe. Jedes Wasser, welches klar, farb- und geruchlos ist, nicht übermäßig viel Chlornatrium, Chlorkalzium, Chlormagnesium enthält, frei von Eisen ist, ist für Brauereizwecke geeignet. Die Braugerste soll ein glänzendes Aussehen und weiße Farbe besitzen, gleichmäßig reif und vollkommen trocken sein. Ferner soll sie stärkereich sein und eine möglichst große Keimfähigkeit besitzen. Ihre mittlere Zusammensetzung soll nach Lintner folgende sein: 14% Wasser, 9% Eiweiß, 62% Stärke, 3,5% N-freie Extraktstoffe, 2,5% Fett, 6,5% Rohfaser und 2,5% Asche.

Hopfen sind die unbefruchteten Fruchtzapfen der kultivierten weiblichen Hopfenpflanze Humulus lupulus. Unter den Bestandteilen des Hopfens kommen für die Bierbereitung hauptsächlich in Betracht das Hopfenmehl oder das Lupulin. Dasselbe ist keine chemische Verbindung, wie man nach dem Namen Lupulin denken könnte, sondern ein Gemenge verschiedener Stoffe, des Hopfenöls, der Hopfenbittersäuren, des Hopfenharzes, der Hopfengerbsäure und verschiedener Alkaloide. Das Hopfenöl verleiht dem Bier das charakteristische Hopfenaroma. Die Hopfenbittersäuren verleihen den bitteren Geschmack. Die Hopfenharze besitzen die wichtige Eigenschaft, hemmend auf die Milchsäurebakterien einzuwirken, verhindern also die Spaltpilzgärung. Die Bedeutung der Hopfengerbsäure liegt weniger, wie man früher annahm, in der konservierenden Wirkung durch Fällung der Eiweißstoffe, als darin, daß sie den Geschmack und die Farbe des Bieres beeinflußt.

Die in der Brauerei verwendete Hefe ist die Bierhefe, Saccharomyces cerevisiae. Man unterscheidet zwei Arten, Oberhefe und Unterhefe. Die Unterhefe bewirkt Gärungen bei Temperaturen von 4 bis 10° und die Gärung dauert 8 bis 10 Tage, die Temperatur steigt dabei um 1,5 bis 2,5°. Die Hefe setzt sich auf dem Boden des Gärbottichs als dichter Bodensatz ab. Die Oberhefe bewirkt Gärung bei 12 bis 25°. Die Gärung verläuft stürmisch und ist in 2 bis 3 Tagen zu Ende. Die neugebildeten Hefezellen steigen an die Oberfläche und bilden dort eine schaumartige Decke. Die beiden Hefen sind wahrscheinlich auch zwei morphologisch verschiedene Varietäten. Durch die Hefe wird bekanntlich der Traubenzucker in Alkohol und Kohlensäure gespalten, wobei etwa 5% Nebenprodukte, Glyzerin, Bernsteinsäure usw. auftreten. Nach den neueren Untersuchungen Buchners beruht die Wirkung der Hefe auf der Gegenwart von Enzymen, von denen die Invertase und die Maltase die nicht gärungsfähigen Kohlehydrate in gärungsfähige verwandeln und die Zymase die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure bewirkt.

Der eigentliche Brauprozeß zerfällt in 1. die Malzbereitung (Einweichen, Keimenlassen und Darren der Gerste); 2. die Herstellung der Würze; 3. das Vergärenlassen der gehopften Würze und das Lagern des fertigen Produktes.

Für das erste Stadium wird die Gerste in Wasser geweicht, um sie für die Keimung mit Wasser zu sättigen, wobei sie oft 25% ihres Volumens an Wasser aufnimmt. Dieses Stadium dauert ungefähr 2 bis 5 Tage. Die gequollene Gerste wird dann auf große Haufen geworfen, wobei sich möglichst viel Diastase, ein Ferment, welches Stärke in Dextrin und Maltose verwandelt, bilden soll. Ferner entsteht beim Keimen noch Cytase, ein celluloselösendes Ferment, und Peptase, welche unlösliche Eiweißkörper in lösliche Peptone und Amidokörper umwandelt.

Das so erhaltene Produkt (Grünmalz mit 40 bis 50% Wasser) wird entweder in warmer Luft (Luftmalz mit 12% Wasser) oder bei höherer Temperatur (Darrmalz mit ca. 2 bis 3% Wasser) getrocknet. Aus dem von den Keimen befreiten und geschrotenen Malz wird durch Behandeln mit warmem Wasser (Maischen) die vergärbare Würze hergestellt, die dann mit Hopfen gekocht wird. Nach dem Kochen wird von den ausgeschiedenen Substanzen abgesiebt, und die Würze rasch auf 5 bis 6° für Untergärung und 12 bis 20° für Obergärung abgekühlt.

Durch den Maischprozeß sollen die im Wasser löslichen Substanzen extrahiert und außerdem ein Teil der unlöslichen Substanzen durch weitere Wirkung von Fermenten in lösliche übergeführt werden. Eine vollständige Ueberführung der Stärke in Maltose wird nicht beabsichtigt, um größere Mengen unvergärbarer Dextrine zu behalten, welche dem Bier seinen Nährwert geben. Durch das Kochen mit Hopfen wird dann die weitere Wirkung der Diastase und anderer Fermente vernichtet, die Würze konzentriert, die gerinnbaren Eiweißstoffe abgeschieden. Gleichzeitig werden dem Hopfen die für den Brauprozeß notwendigen, oben erwähnten Bestandteile entzogen.

Die auf die Gärtemperatur abgekühlte Würze kommt dann in Bottiche in die Gärkeller und wird mit dickbreiiger Hefe versetzt und der Gärung überlassen. Nach 10 bis 12 Tagen ist die Hauptgärung beendigt. Man läßt das Bier in den Gärbottichen nicht vollständig ausgären, sondern füllt es auf Fässer ab und überläßt es noch einer Nachgärung.

Digitized by Google

Man unterscheidet helle und dunkle Biere, je nach der Temperatur, bei der das Malz getrocknet wird, obergärige und untergärige Biere, je nach der Temperatur der Gärung, schwach und stark eingebraute Biere, je nach der Konzentration der Würze, alkoholreiche (Bockbiere) und alkoholarme Biere.

Das Bier ist sowohl ein Genußmittel wegen seines Alkoholgehaltes, wie ein Nahrungsmittel wegen seines Gehaltes an Eiweiß, Zucker, Dextrin und Salzen. Das Bier enthält 3 bis 5% Alkohol, 0,1 bis 0,2% Kohlensäure, 4 bis 5% Maltose und Dextrin, 0,8% Stickstoffsubstanz, 0,2 bis 0,3% Asche. Die mittlere Zusammensetzung der gebräuchlichen Biersorten ist nach König II S. 1226:

Biersorte	Wasser %	Kohlensäure %	Alkohol Gew. %	Extrakt	Stickstoffsubstanz	Maltose	Gummi und Dextrin	Milchsäure	Asche
Winterbier, leichteres . .	91,11	0,197	3,36	5,34	0,74	1,15	3,11	0,156	0,204
Lagerbier (schw.)	90,62	0,207	3,69	5,49	0,52	1,08	3,17	0,178	0,207
Exportbier . . .	89,00	0,207	4,29	6,50	0,66	1,45	3,57	0,174	0,239
Bockbier (Salvator usw.) . .	86,80	0,221	4,64	8,34	0,73	2,77	4,09	0,181	0,276
Weißbier . . .	91,62	0,299	2,79	5,29	0,54	1,56	2,43	0,353	0,142
Obergäriges Bier	93,26	0,161	2,86	3,72	0,37	0,82	1,65	0,433	0,160
Porter	86,49	0,383	5,16	7,97	0,63	2,06	3,08	0,325	0,380
Ale	88,54	0,201	5,27	5,99	0,61	1,07	1,81	0,284	0,320
Malzextraktbier	83,87	0,20	3,74	11,74	0,86	5,85	3,93	0,275	0,292

β) Wein ist nach dem Weingesetz das durch alkoholische Gärung aus dem Safte der Weintrauben hergestellte Getränk. Die Beschaffenheit des Weines ist abhängig von der Weintraube, von der Gewinnung und Vergärung des Saftes und von der Behandlung des Weines. Die Entwickelung der Traube steht in Beziehung zur Traubensorte, dem Klima und der Beschaffenheit des Bodens und vor allem der Lage, in welcher der Weinstock gedeiht. Die reifen Weintrauben werden entweder mit den Kämmen oder, nachdem diese entfernt sind, zerdrückt und die zerquetschte Masse entweder sofort oder nachdem sie einige Zeit mit den Hülsen gestanden, um denselben mehr Bouquetstoffe zu entziehen oder eine gleichmäßigere Verteilung der Hefe, die auf den Hülsen sitzt, herbeizuführen, abgepreßt (Keltern des Weines). Bei Rotwein läßt man den Saft viel länger mit den Beeren zusammen, um möglichst viel Farbstoff in Lösung zu bekommen.

Der auf diese Weise erhaltene zuckerreiche Traubensaft wird der Gärung überlassen. Durch die Wirkung verschiedener Hefearten wird der Zucker in Alkohol und Kohlensäure gespalten. In einer gewissen Stärke tötet aber der Alkohol die Hefe. Bei einem Alkoholgehalt von ca. 14% hört die Gärung auf, der Wein kann also durch Gärung keinen viel höheren Alkoholgehalt erhalten. Die Hauptgärung ist in 3 bis 8 Tagen je nach der Temperatur beendigt. Wenn die Hauptgärung abgelaufen ist, wird der Wein auf Lagerfässer abgezogen und der Nachgärung überlassen, wobei Hefe und andere Verunreinigungen sowie Weinstein niedergeschlagen werden. Da während des Lagerns des Weines eine stete Verdunstung durch die Poren des Faßholzes hindurch stattfindet, so muß immer nachgefüllt werden. Die anderen beim Lagern auftretenden Veränderungen sind großenteils Oxydationserscheinungen, die durch den Durchtritt von Sauerstoff durch die Poren des Holzes bedingt sind.

Dabei bilden sich Terpene, glykosidartige Verbindungen, ätherische Oele, Aldehyde, esterartige Verbindungen usw., die dem Wein das Bouquet verleihen. Nach der Reifung des Weines wird er dann auf Flaschen abgefüllt. Der Alkoholgehalt unserer Rhein- und Moselweine, auch der französischen Rotweine, beträgt ungefähr 8%, der Extrakt etwa 2 bis 3%. Bei den sogenannten Süßweinen, wie Tokayer, den griechischen und spanischen Weinen (Samos, Sherry, Portwein, Madeira usw.) steigt der Alkoholgehalt auf 14 bis 19%, der Zuckergehalt schwankt zwischen 2 und 7%. Die Schaumweine sind mit Kohlensäure unter Druck gesättigte Weine, die durch Zusatz von Likör einen besonderen Geschmack erhalten. Neuerdings werden auch aus anderen Früchten Weine (Obstweine) hergestellt, und zwar in derselben Weise wie der Wein der Weintrauben. Der Alkoholgehalt beträgt auch ungefähr 6 bis 8%.

Folgende Tabelle nach König Bd. II S. 1284ff. möge eine Uebersicht über die prozentische Zusammensetzung der wichtigsten ebengenannten Weine geben:

Digitized by Google

Bezeichnung	Alkohol	Extrakt	Säure = Weinsäure	Zucker	Asche
Mosel	7,36	2,31	0,77	0,20	0,16
Wein	8,12	2,91	0,77	0,23	0,20
Ahrrotwein	9,47	2,90	0,63	0,15	0,24
Pfalzwein	8,54	2,21	0,64	0,13	0,21
Bordeaux	8,16	2,42	0,58	0,23	0,25
Tokayer	11,19	12,72	0,60	9,01	0,27
Sherry	16,09	4,06	0,41	2,40	0,46
Portwein	16,18	8,25	0,42	6,04	0,22
Madeira	14,43	5,23	0,49	2,95	0,25
Champagner, trocken	10,42	2,36	0,61	0,53	0,14
„ süß	9,50	12,88	0,63	10,95	0,15
Apfelwein	5,09	2,52	0,63	0,21	0,27

γ) Branntweine sind alkoholreiche, aus vergorenen Maischen oder Flüssigkeiten durch Destillation gewonnene Getränke. Da durch einfache Gärung nur Getränke von 15 bis 20% Alkohol gewonnen werden können, so hat man behufs Gewinnung höher konzentrierter alkoholischer Getränke die vergorenen Flüssigkeiten destilliert, wobei der leichter flüchtige Alkohol in größere Mengen übergeht. Je nachdem diese Destillate unverändert oder durch Wasserzusatz auf eine bestimmte Konzentration gebracht sind, oder mit Pflanzenauszügen, ätherischen Oelen oder Zucker gemischt werden, unterscheidet man die eigentlichen Branntweine mit meist hohem Alkoholgehalt von den Likören. Als Rohmaterialien dienen entweder Weine, welche bereits Alkohol enthalten, oder zuckerreiche Früchte, (Kirschen, Zwetschen), Zuckerrüben, welche erst der Gärung unterworfen werden, ferner alle Substanzen, welche Traubenzucker enthalten) oder Fermente, welche Stärke invertieren können (Kartoffeln, Getreide). Die gewöhnlichen Trinkbranntweine (Korn, Whisky, Kartoffelbranntwein) enthalten 25 bis 45% Alkohol, außerdem immer bis zu 0,3% Fuselöl, Kirschwasser ca. 50% Alkohol, außerdem Spuren von Blausäure, Kognak, aus Traubenwein hergestellt, im Mittel 56% (35,3 bis 81,8), Rum (aus Zuckerrohr), im Mittel 61% (44 bis 93%), Arrak (aus Reis) 58%.

Die Liköre und bitteren Branntweine, meistens nach besonderen Rezepten, durch Zusatz aromatischer oder bitterer Extrakte hergestellt, enthalten im Mittel 50% Alkohol.

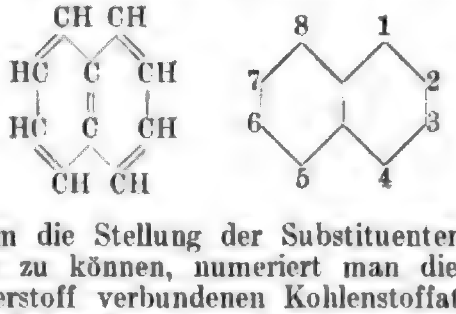
Literatur. **C. v. Voit,** *Physiologie des allgemeinen Stoffwechsels und der Ernährung. In Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. VI, 1, S. 420fg.* — **J. König,** *Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel Bd. I und II, 4. Aufl.* — **D. Finkler,** *Die Verwertung des ganzen Korns zur Ernährung. Bonn 1910.* — **O. Hagemann,** *Die Ausnutzung des Finalmehls. Pflügers Archiv Bd. 137, S. 571, 1910.* — *Das Finklersche Finalmehl. Vortrag, gehalten am 23. Oktober 1911 in der Sitzung des Sonderausschusses für Fütterungswesen d. deutsch. Landwirtsch. Gesellsch. Mitteil. d. d. Landw. Ges. 1912.* — **W. Rusche,** *Kann Pferdefleisch durch die quantitative Glykogenanalyse mit Sicherheit nachgewiesen werden? Pflügers Archiv Bd. 116, S. 347, 1907.*

B. Schöndorff.

Naphtalingruppe.

1. Formel und Konstitution der Stammsubstanz. 2. Naphtalin: Darstellung, Eigenschaften, Synthese. 3. Homologe, Halogenderivate, Sulfosäuren, Carbonsäuren, Nitronaphtaline. 4. Naphtylamine, Naphtole und Naphtochinone.

1. Formel und Konstitution der Stammsubstanz. Die Bruttoformel des Naphtalins, $C_{10}H_8$, wurde schon 1826 von Faraday festgestellt, seine Konstitution aber erst viel später (1866) von Erlenmeyer und Gräbe aufgeklärt. Nach ihnen besteht das Naphtalin aus 2 kondensierten Benzolkernen (vgl. die Artikel „Aromatische Reihe" und „Benzolgruppe"), welche 2 orthoständige Kohlenstoffatome gemeinsam haben; es kommt ihm also, dem Kekuléschen Benzolschema entsprechend, folgende Formel zu

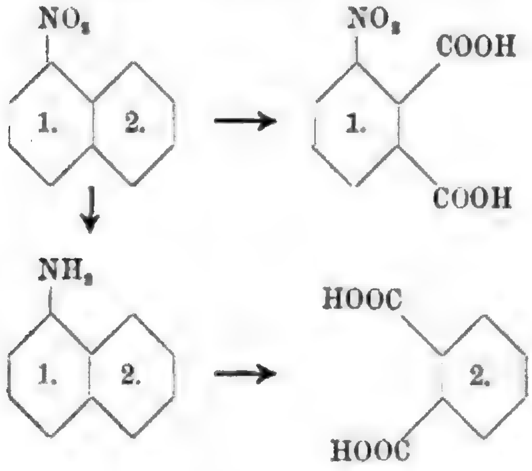


Um die Stellung der Substituenten angeben zu können, numeriert man die mit Wasserstoff verbundenen Kohlenstoffatome, wie die zweite Formel zeigt. Aus der symmetrischen Anordnung der Molekel ergibt sich ohne weiteres, daß die Stellungen 1, 4, 5 und 8, sowie 2, 3, 6 und 7 unter sich identisch sind; es sind also zwei isomere Monosubstitutionsprodukte möglich, die man

Digitized by Google

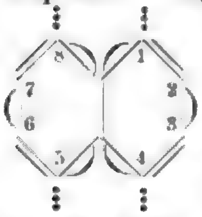
auch als α- und β-Derivate unterscheidet. Bei Bisubstitutionsprodukten bezeichnet man die 1,8-Stellung als peri-Stellung.

Der Beweis, daß das Naphtalin in der Tat aus zwei Benzolkernen gebildet ist, folgt z. B. aus dem Abbau des Nitronaphtalins einerseits durch direkte Oxydation zu Nitrophtalsäure, und andererseits durch Reduktion zu Naphtylamin und darauf folgende Oxydation zu Phtalsäure



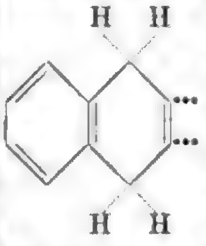
Im ersten Falle bleibt der die Nitrogruppe tragende Benzolkern (1.) als solcher erhalten, während im zweiten gerade der substituierte Kern (1.) aufgesprengt wird und sich danach auch der zweite Kern als ein Benzolkern erweist.

Trotz der nahen Verwandtschaft zum Benzol zeigt das Naphtalin doch in vieler Beziehung ein etwas abweichendes Verhalten. So nimmt das Naphtalin unschwer 2 bis 4 Atome Wasserstoff auf, seine Hydroxylverbindungen lassen sich leicht ätherifizieren und in die entsprechenden Amine überführen, Reaktionen, die sämtlich beim Benzol nicht oder bedeutend schwerer ausführbar sind. Dieses Verhalten findet seine beste Erklärung in der von Thiele angegebenen Naphtalinformel. Bei Anwendung der Theorie der Partialvalenzen (vgl. den Artikel „Valenzlehre“) auf das Naphtalin ergibt sich folgendes Bild:



Die in den Punkten 1, 4, 5 und 8 auftretende Partialvalenz kann nicht, wie es beim Benzol der Fall ist, durch die benachbarte Partialvalenz völlig abgesättigt werden, da diese von zwei Seiten beansprucht wird; folglich kann das Naphtalin auch nicht reinen Benzolcharakter haben, seine Doppelbindungen sind nicht so vollständig „inaktiviert“ und infolgedessen reaktionsfähiger.

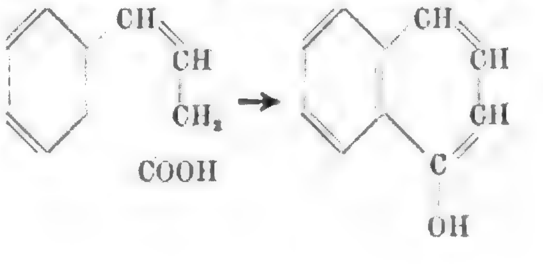
Wird Naphtalin z. B. in siedender, äthylalkoholischer Lösung mit Natrium reduziert, so addiert es zuerst in 1,4-Stellung Wasserstoff, wodurch der übrigbleibende nicht hydrierte Kern in seinen Bindungsverhältnissen (und auch in seinen Reaktionen) durchaus mit einem Benzolring identisch wird. Die zwischen den Kohlenstoffatomen 2 und 3 auftretende Doppelbindung nimmt nun leicht zwei weitere Atome Wasserstoff auf, wobei Tetrahydronaphtalin entsteht, welches in seinem Verhalten ganz einem Benzolderivat mit gesättigten Seitenketten entspricht.



2. Naphtalin: Darstellung, Eigenschaften, Synthese. Das Naphtalin kommt in der Natur nur in sehr geringer Menge als Bestandteil einiger Mineralöle vor. Derivate finden sich vereinzelt in der Pflanzenwelt, Santonin im Wurmsamen (Artemisia Cina Berg), Juglon in den Schalen der Nüsse. Die technische Darstellung des Naphtalins geschieht ausschließlich aus dem Steinkohlenteer, worin das Naphtalin in größerer Menge als irgendeiner der übrigen Bestandteile enthalten ist. Es wird aus dem sogenannten „Schweröl“, der von 200 bis 250° siedenden Fraktion, durch Auskristallisieren gewonnen. Seine technische Bedeutung ist eine sehr große, da es einerseits leicht zu Phtalsäure oxydiert werden kann, die das Ausgangsmaterial für den Indigo und die Eosinfarbstoffe abgibt, und andererseits auch seine direkten Derivate in der Industrie der Azofarbstoffe eine wichtige Rolle spielen (vgl. die Artikel „Indigogruppe“ und „Farbstoffe“). Bekannt ist seine Verwendung als Mottenpulver.

Das Naphtalin kristallisiert in weißen Blättchen und ist in heißem Alkohol und Aether leicht löslich, unlöslich in Wasser, aber mit Wasserdämpfen flüchtig. Sein Schmelzpunkt liegt bei 80°, der Siedepunkt bei 218°; es ist leicht sublimierbar und hat einen höchst charakteristischen Geruch.

Synthesen des Naphtalins und seiner Abkömmlinge sind in großer Zahl ausgeführt; von ihnen besitzt besonders die des α-Naphtols theoretisches Interesse, weil sie auf die Konstitution des Naphtalins ein besonders klares Licht wirft, und weil ferner durch sie die Frage endgültig gelöst wurde, welches der beiden bekannten isomeren Naphtole die Hydroxylgruppe in der α-Stellung enthält. α-Naphtol bildet sich nämlich beim Erhitzen von Phenylisocrotonsäure unter Wasserabspaltung



Digitized by Google

3. Homologe, Halogenderivate, Sulfosäuren, Carbonsäuren, Nitronaphtaline. Von den Homologen des Naphtalins finden sich 1- und 2-Methylnaphtalin, sowie Dimethylnaphtalin im Steinkohlenteer; sie sind aber nur schwierig daraus zu isolieren und werden gewöhnlich auf synthetischem Wege (mittels der Fittigschen oder Friedel-Craftsschen Synthese, siehe den Artikel „Synthese“) aus Naphtalin dargestellt. Sie haben keine technische Bedeutung.

Bei der Einwirkung von Halogenen auf Naphtalin entstehen zunächst Additionsprodukte, die bei höherer Temperatur Halogenwasserstoff abspalten und in halogensubstituierte Körper übergehen. Aus Naphtalindichlorid entsteht so Monochlornaphtalin und zwar ausschließlich die bei gewöhnlicher Temperatur flüssige α-Verbindung; das β-Derivat (Schmelzpunkt 56°) kann durch direkte Chlorierung nicht erhalten werden, wohl aber leicht auf andere Weise, z. B. beim Behandeln von 2-Naphtalinsulfosäure mit Phosphorpentachlorid

$$C_{10}H_7SO_3H \rightarrow C_{10}H_7SO_2Cl \rightarrow C_{10}H_7Cl.$$

Höher chlorierte Naphtaline, sowie Brom- und Jodnaphtaline sind in großer Zahl bekannt.

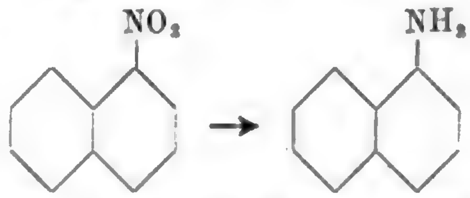
Hohe technische Bedeutung besitzen die Sulfosäuren des Naphtalins, da sie durch Alkalischmelze in die entsprechenden Hydroxyl- und über diese hinweg in Aminoverbindungen übergeführt werden können, die zur Darstellung der wichtigsten Azofarbstoffe dienen. Bei der direkten Sulfurierung des Naphtalins mit konzentrierter Schwefelsäure wird je nach den Bedingungen die 1- oder 2-Monosulfosäure erhalten, und zwar entsteht bei niederer Temperatur (bis 80°) überwiegend 1-, bei 160° bis 180° ausschließlich 2-Säure. Die 2-Säure ist von besonderer Wichtigkeit, weil sie das Ausgangsmaterial für alle übrigen 2-Derivate des Naphtalins bildet.

Der Thieleschen Formel entsprechend, die an den Kohlenstoffatomen 1, 4, 5 und 8 freie Partialvalenz annimmt, entstehen bei allen Substitutionen im Naphtalinkern so gut wie ausschließlich die 1-Verbindungen. Daß bei der Sulfurierung bei höherer Temperatur sich die 2-Säure bildet, erklärt sich aus der Tatsache, daß die 1-Säure bei hoher Temperatur unbeständig ist und sich wieder in Naphtalin und Schwefelsäure spaltet, während die anfänglich nur in geringer Menge gebildete 2-Säure vollkommen beständig ist, und sich infolgedessen mehr und mehr anreichert.

Bei stärkerer Sulfurierung erhält man drei isomere Disulfosäuren (2,7- und 2,6- als Hauptmenge, daneben 1,6-) bei Anwendung von Chlorsulfonsäure an Stelle von Schwefelsäure entsteht außerdem noch die 1,5-Säure. Es treten also stets die beiden Sulfogruppen in verschiedene Kerne ein, homonukleare Disulfosäuren sind nur auf Umwegen darstellbar (vgl. auch den Artikel „Sulfoverbindungen“).

Die Naphtalincarbonsäuren (Naphtoësäuren) sind ohne allgemeines Interesse. — Bei der Nitrierung des Naphtalins entsteht zunächst α-Nitronaphtalin (gelbe Nadeln, Schmelzpunkt 61°); energischere Einwirkung von Salpetersäure führt zu 1,5- und 1,8-Dinitronaphtalin, sowie zu Tri- und Tetranitronaphtalinen. Sie finden in der Sprengstoffindustrie und auch als Ausgangsmaterial für eine Reihe von Farbstoffen Verwendung (vgl. auch den Anhang „Cyklische Säuren“ im Artikel „Fettsäuren“ und den Artikel „Nitroverbindungen“).

4. Naphtylamine, Naphtole und Naphtochinone. Durch Reduktion der Nitronaphtaline erhält man die entsprechenden Naphtylamine, so aus 1-Nitronaphtalin das 1-Naphtylamin,



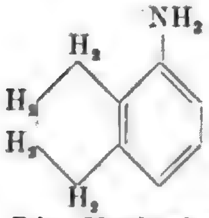
aus den Dinitronaphtalinen Naphtylendiamine, $C_{10}H_6(NH_2)_2$ usw. Technisch wird auf diesem Wege von Monoderivaten nur die α-Verbindung dargestellt, da β-Nitronaphtalin nicht durch direkte Nitrierung, sondern nur durch eine ziemlich umständliche Reaktionsfolge zugänglich ist. 2-Naphtylamin läßt sich aber bequem aus 2-Naphtol (siehe unten) darstellen, nämlich durch Erhitzen mit Chlorzinkammoniak auf 200°

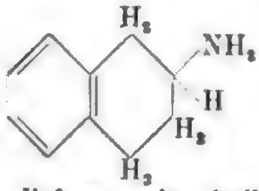
$$C_{10}H_7OH + NH_3 = C_{10}H_7NH_2 + H_2O.$$

Die Naphtylamine sind farblose, gut kristallisierende Substanzen. α-Naphtylamin schmilzt bei 50° und siedet bei 301°; es besitzt einen höchst unangenehmen Geruch. β-Naphtylamin bildet glänzende Blättchen vom Schmelzpunkt 112° und Siedepunkt 306°.

Die beiden Naphtylamine unterscheiden sich in eigentümlicher Weise von einander bei der Reduktion mit Natrium und Alkohol. Sie nehmen beide vier Wasserstoffatome auf, doch entstehen dabei grundsätzlich verschiedene Verbindungen. Beim Uebergang zum Tetrahydro-α-naphtylamin treten sämtliche vier Wasserstoffatome in den nicht substituierten Kern, so daß diese Verbindung vollständig den Charakter eines aromatischen Amins behält. Sie wird deshalb ar- (= aromatisches) Tetrahydro-α-naphtylamin genannt. Beim β-Napthylamin wird dagegen der die Aminogruppe tragende Kern hydriert, so daß diese nun aliphatisch gebunden erscheint, man nennt das Reduktionsprodukt ac- (= alicyklisches) Tetrahydro-β-naphtylamin

Digitized by Google



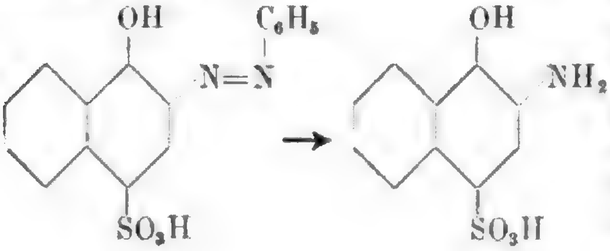


Die Naphtylamine liefern wie Anilin Diazoverbindungen, welche sich leicht mit Aminen und Phenolen zu Azofarbstoffen kuppeln lassen. In der Technik verwendet man indessen meist nicht die Amine selbst, sondern ihre Sulfosäuren, da die eine Sulfogruppe enthaltenden Farbstoffe wegen ihrer Wasserlöslichkeit zum Färben geeigneter sind. Die Naphtylaminsulfosäuren sind neben den Naphtol- und Aminonaphtolsulfosäuren die technisch wichtigsten „Azokomponenten". Sie werden durch Reduktion der Nitrosulfosäuren oder Sulfurierung der Naphtylamine hergestellt und sind in einer großen Zahl von Isomeren bekannt. Die wichtigste ist die 1-Naphtylamin-4-sulfosäure (Naphtionsäure), die aus Wasser in glänzenden weißen Nadeln kristallisiert (vgl. auch die Artikel „Ammoniakderivate", „Azoverbindungen").

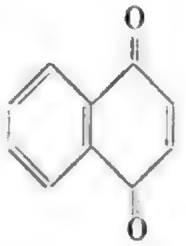
Die Hydroxylverbindungen des Naphtalins, Naphtole genannt, werden durch Kalischmelze der Sulfosäuren erhalten

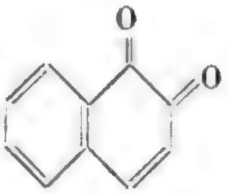
$C_{10}H_7SO_3K + KOH = C_{10}H_7OH + SO_3K_2$.

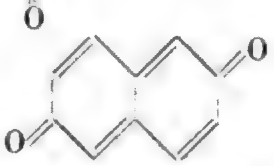
Sie entstehen ferner aus den Naphtylaminen durch Erhitzen mit Wasser auf 200° und nach der Diazoreaktion. Es sind gut kristallisierende, unzersetzt destillierbare (α-Naphtol: Schmelzpunkt 95°, Siedepunkt 280°, β-Naphtol: Schmelzpunkt 122°, Siedepunkt 285°), in Wasser schwer lösliche Verbindungen, welche wie die Phenole saure Eigenschaften besitzen. Sie sind überhaupt in ihrem chemischen Verhalten den Phenolen sehr ähnlich, unterscheiden sich aber von ihnen durch die größere Reaktionsfähigkeit der Hydroxylgruppe. Als Azokomponenten verwendet man auch hier meist die Sulfosäuren, von denen als technisch besonders wichtig die 1,4-Naphtolsulfosäure (Nevile-Winthersche Säure) und die 2-, 3-, 6-Naphtoldisulfosäure (R-Säure) angeführt seien. Fast noch größere industrielle Bedeutung besitzen die Aminonaphtolsulfosäuren, die durch Sulfurieren der Aminonaphtole oder durch Reduktion von Azoderivaten der Naphtolsulfosäuren erhalten werden können.



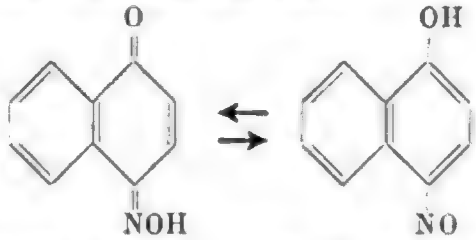
Von den Dioxynaphtalinen $C_{10}H_6(OH)_2$, die bei der Kalischmelze der Disulfosäuren entstehen, sind sämtliche 10 möglichen Isomeren bekannt. Einige von ihnen — die 1,4-, 1,2- und 2,6-Verbindung — lassen sich zu den entsprechenden Naphtochinonen $C_{10}H_6O_2$ oxydieren, von denen das 1,4- und 1,2-Chinon dem gewöhnlichen Chinon, bezw. dem Orthochinon sehr ähnlich sind.







Mit Hydroxylamin liefern diese Chinone Oxime, die meist nach der tautomeren Nitrosonaphtolformel reagieren



Interessant ist ferner die Bildung dieser Chinonoxime beim Behandeln von α- und β-Nitronaphtalin mit alkoholischem Kali. — Von Oxynaphtochinonen ist das 5,6-Dioxy-1,4-naphtochinon technisch wertvoll. Wegen der Aehnlichkeit seiner Konstitution mit dem Alizarin wird es Naphtazarin genannt. Es ist wie das Alizarin ein Beizenfarbstoff und kommt als Alizarinschwarz in den Handel (vgl. auch die Artikel „Phenole", „Chinone" und „Farbstoffe").

Literatur. *V. Meyer und P. Jacobson, Lehrbuch der organischen Chemie, 2. Bd., 2. Teil, Leipzig 1903.*

Jakob Meisenheimer.

Naphtene.

1. Begriff. 2. Vorkommen und Geschichte. 3. Bezeichnung. Natürliche Naphtene und ihre Konstitution. 4. Naphtensäuren. 5. Darstellung von technisch reinen Naphtenen aus Erdöl. 6. Darstellung von chemisch reinen Naphtenen aus Erdöl. 7. Verwendung. 8. Eigenschaften einiger natürlicher und künstlicher Naphtene.

1. Begriff. Unter dem Namen „Naphtene" versteht man cyklische Polymethylene, also gesättigte Kohlenwasserstoffringe, auch alicyklische Kohlenwasserstoffe genannt, von der allgemeinen Formel C_nH_{2n}, und

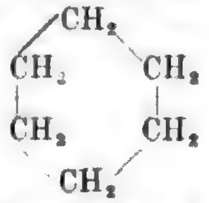
Digitized by Google

zwar in der Hauptsache die fünf-, sechs- und siebengliedrigen Ringsysteme, welche sich mit zahlreichen Abkömmlingen im kaukasischen Petroleum vorfinden.

2. Vorkommen und Geschichte. Im Gegensatz zu der Tatsache, daß amerikanisches Petroleum aus Fettkohlenwasserstoffen, welche der offenen Reihe (Paraffinreihe) angehören, besteht, fanden Markownikow und Ogloblin im Jahre 1883, daß das russische Petroleum, das sich durch ein höheres spezifisches Gewicht auszeichnet, vornehmlich Kohlenwasserstoffe ringförmigen gesättigten Charakters enthält, welche sie mit dem Sammelnamen „Naphtene" belegten. Die Hauptfundstellen für dieses russische Petroleum befinden sich auf der Halbinsel Apscheron am Kaukasus in der Nähe der Orte Baku, Grosny, Surachany, Bibi Eibat, Balachany usw. Die Gesamtproduktion an kaukasischem Petroleum beträgt (1901) etwa 90 Mill. Doppelzentner (bei 200 Mill. Gesamtförderung auf der Erde). Da das kaukasische Erdöl zu rund 80—90% aus Naphtenen besteht, jährlich also ein Quantum von mindestens 65 Mill. Doppelzentnern Naphtene liefert, kann man annehmen, daß es mit der Zeit eine ähnliche Rolle in der Chemie der alicyklischen Verbindungen spielen wird, wie die Steinkohlendestillate in der Benzolreihe. Wie beim Steinkohlenteer, so ist auch bei den Erdölnaphtenen eine große Anzahl von chemischen Individuen vorhanden, die hier allerdings weit schwerer voneinander zu trennen sind, als dort. Die Erdölindustrie ist etwa 50 Jahre alt, und doch beschränkt sie sich auch heute noch lediglich darauf, die Rohprodukte von Verunreinigungen zu befreien und in Fraktionen, die durch ihre physikalischen Eigenschaften ausgezeichnet sind, zu zerlegen. Wenn aus dem russischen Petroleum vorläufig keine einheitlichen Verbindungen gewonnen werden, so beruht dies in dem nahen Zusammenliegen der Siedepunkte der einzelnen homologen Naphtene und an der Schwierigkeit, sie durch chemische oder physikalische Mittel zu trennen. — Außer im kaukasischen Erdöl finden sich Naphtene reichlich noch im galizischen und rumänischen Petroleum vor, und in kleinen Mengen in allen anderen bekannten Erdölen.

3. Bezeichnung. Natürliche Naphtene und ihre Konstitution. Zur Nomenklatur der Naphtene benützt man die Namen „Pentamethylen, Hexamethylen" oder „Cyclopentan, Cyclohexan". Letztere Bezeichnungsweise ist vorzuziehen, da sie die ringförmige, gesättigte Struktur hervorhebt. Auch Namen wie „Hexa-, Hepta-, Octonaphten" werden gebraucht und mit Vorteil (bei höheren Gliedern) besonders dann, wenn über die Konstitution nichts ausgesagt werden soll und kann, vielmehr lediglich der Kohlenstoffgehalt (C_6, C_7, C_8, C_9 usw.) benannt werden soll.

Markownikow und seine Schüler konnten feststellen, daß den Naphtenen die Formel C_nH_{2n} zukommt und daß sie keine Doppelbindungen enthalten, zugleich wiesen sie nach, daß die Naphtene nicht, wie früher, von Beilstein und Kurbatow auf Grund ihrer Ueberführbarkeit durch Nitriergemische in Nitrobenzolderivate angenommen worden war, der Cyclohexanreihe



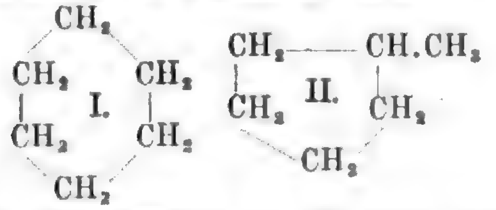
Cyclohexan (Hexamethylen)

angehörten, sondern eine selbständige Gruppe bilden. Diese Erkenntnis wurde darauf gestützt, daß das Octonaphten, C_8H_{16}, und das Nononaphten, C_9H_{18}, bei der Einwirkung von Salpeter-Schwefelsäure nur unwesentliche Mengen von Trinitroxylol und Trinitromesitylen ergaben, deren Entstehung auf Spuren verunreinigender Xylole und Trimethylbenzole zurückgeführt werden konnte. Die Aufgabe der Bestimmung der Konstitution der Naphtene ist eine der schwierigsten der organischen Chemie. Noch etwa 20 Jahre blieb die Frage nach der Natur des in den Naphtenen vorhandenen Ringkernes unentschieden, und die Ansichten wechselten vielfach.

Markownikow isolierte aus dem Erdöl von Balachany das „Hexahydrobenzol", das er Hexanaphten nannte. Es hatte den Siedepunkt 69 bis 71° und war anscheinend identisch mit dem aus reinstem Benzol mit Jodwasserstoff und Phosphor von Kishner dargestellten „Hexahydrobenzol" vom gleichen Siedepunkt. Drei wesentliche Entdeckungen jedoch waren entscheidend für die Erkenntnis der wahren Konstitution des Hauptanteils der Petroleumnaphtene. Im russischen wie im walachischen Erdöl finden sich Substanzen saurer Natur, die von Hell und Medinger 1874 entdeckt wurden und den Namen Kerosinsäuren oder Naphtensäuren führen (vgl. nächsten Absatz). Aschan reduzierte eine dieser Säuren zum entsprechenden Kohlenwasserstoff, der sich ebenfalls im Erdöl vorfindet, wodurch die Zugehörigkeit der Kerosinsäuren und der Naphtene zum gleichen Ringsysteme nachgewiesen wurde. Da es ihm ferner gelang, die Verschiedenheit der natürlichen Hexanaphtenkarbonsäure $C_6H_{11}.COOH$ mit der aus Benzoesäure dargestellten Hexahydrobenzoesäure $C_6H_{11}.COOH$ nachzuweisen, wurde der Beweis erbracht, daß

Digitized by Google

jedenfalls ein Teil der natürlichen Kerosinsäuren und damit der natürlichen Naphtene nicht den Cyclohexanring in sich birgt. Zweitens hatte inzwischen v. Baeyer das wahre Hexahydrobenzol, das Cyclohexan aus dem Succinylobernsteinsäureester dargestellt, welches den Siedepunkt 79 bis 79,5° zeigte und mit dem Hexanaphten Markownikows nicht identisch war. Endlich war Kishner durch genauere Untersuchungen zu dem Resultat gekommen, daß die bisher als Hexahydrobenzol angesehene Verbindung C_6H_{12} nicht das wahre Cyclohexan (Formel I) war, daß sich vielmehr bei der Reduktion des Benzols unter Umlagerung des Sechsringes in den Fünfring Methylpentamethylen (Formel II) bildet:



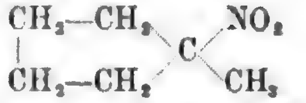
Die oben erwähnte von Markownikow festgelegte Identität zwischen natürlichem Hexanaphten und „Hexahydrobenzol" (d. h. Methylpentamethylen) ist also nur ein Beweis für das Vorkommen von Fünfringen in der kaukasischen Naphta.

Markownikow konnte ferner das Methylpentamethylen in der bei 50° siedenden Fraktion des kaukasischen Petroläthers nachweisen, und auch das wahre Cyclohexan (Hexahydrobenzol) vom Siedepunkt 81 bis 82° auffinden, für welches Zelinsky bei einem synthetischen Produkt diesen Siedepunkt festgestellt hatte.

Zelinsky zeigte auch, daß das Heptanaphten C_7H_{14} vom Siedepunkt 100 bis 101° aus Methylcyclohexan besteht. Andere Homologe des Cyclohexans sind bisher in der Naphta noch nicht nachgewiesen worden. Doch scheint das bei 119° siedende Octonaphten C_8H_{16} mit 1.3-Dimethylcyclohexan identisch zu sein.

Die Frage, ob sich auch Homologe des Cyclopropans und Cyclobutans oder diese selbst im Erdöl vorfinden, findet durch die v. Baeyersche Spannungstheorie (vgl. den Artikel „Organische Chemie") ihre Erledigung. Danach hätten dieselben eine geringere Stabilität und wären folglich nur in kleiner Menge im Erdöl enthalten. In der Tat konnten solche Verbindungen bis jetzt nicht nachgewiesen werden.

Von Bedeutung für die Erkenntnis der Struktur der Naphtene ist die Einwirkung von verdünnter Salpetersäure nach Markownikow und Konowalow, wodurch Kishner aus dem synthetischen „Hexahydrobenzol" ein tertiäres Nitroprodukt



darstellen konnte, welches auf die Anwesenheit einer tertiären Gruppe $>C^H$, also eines Fünfringes im Kohlenwasserstoff C_6H_{12} hindeutet. (Die Konowalowsche Reaktion beruht auf der Löslichkeit der Ferrisalze von primären und sekundären Nitroparaffinen in Aether, wenn letztere durch alkoholisches KOH in Isonitroverbindungen umgewandelt werden. Tertiäre Nitroverbindungen geben diese Reaktion nicht.) Wichtiger erscheint jedoch die Friedel-Craftsche Reaktion, die zuerst von Zelinsky für die natürlichen Naphtene angwendet wurde. Durch die Einwirkung von organischen Säurechloriden kann man hierbei Ketone darstellen, die sich mit analog aufgebauten Ketonen aus synthetischen Naphtenen vergleichen lassen.

4. Naphtensäuren. Die Naphtensäuren (Kerosinsäuren) finden sich im russischen Petroleum fertig gebildet vor und werden diesem bei der technischen Reinigung mit Natronlauge entzogen, da sie mit Alkalien Seifen bilden. Diese sind in Wasser ziemlich schwer löslich, weshalb die Abfalllaugen der Erdölraffination als dünne Emulsionen erscheinen. Durch Zersetzen der Seifenlösungen mit Mineralsäuren erhält man dunkle, besonders in starker Verdünnung widerlich, charakteristisch riechende ölige Flüssigkeiten: die Naphtensäuren, die sich unter gewöhnlichem Druck im Vacuum destillieren lassen. Sie sind hellgelbe Öle, die in reinem Zustande weniger unangenehm riechen und sich in Ester, Amide, Chloride verwandeln lassen. Die Salze sind von salben- bis pflasterartiger Beschaffenheit, selten fest.

Bezüglich der Konstitution der Naphtensäuren nahmen Hell und Medinger (s. oben) an, daß dieselben keine Karboxylgruppe enthielten, sondern ihren sauren Charakter einer OH-Gruppe verdanken.

Markownikow und Ogloblin, sowie Aschan konnten jedoch das Vorhandensein von Karboxylgruppen nachweisen, während Zaloziecki in ihnen Lactoalkohole zu sehen glaubt.

Auf Grund der Engler-Höferschen Hypothese der Entstehung des Erdöls aus tierischem Fett lassen sich die Kerosinsäuren als Umwandlungsprodukte der Oelsäure auffassen. Als typische Naphtensäure ist die Hexanaphtenkarbonsäure (o-Methylcyklopentankarbonsäure) $C_6H_{11}.COOH$, das Isomere der Hexahydrobenzoesäure, anzusprechen. Sie wurde von Aschan aus den Abfalllaugen der Bakuer Kerosinfabriken isoliert, aus denen durch H_2SO_4 die Rohsäuren

abgeschieden wurden. Nach der Umwandlung in die Methylester wurde die Fraktion 165,5 bis 167,6° (corr.) derselben abgetrennt, und daraus durch Verseifen die Säure abgeschieden. Diese stellt ein dickes, farbloses, nicht erstarrendes, nach Valeriansäure riechendes Oel vom Siedepunkt 215 bis 217° (corr.) und dem spezifischen Gewicht 0,950 bei 18,4° dar. Ihre Salze sind amorphe, in kaltem Wasser und Alkohol lösliche Massen. Ihr Methylester siedet bei 166° und ist eine farblose, lichtbrechende Flüssigkeit von anfangs angenehmem, fruchtartigem, auf die Dauer aber ekelerregendem Geruch. Das Amid kristallisiert in perlmutterglänzenden Blättchen.

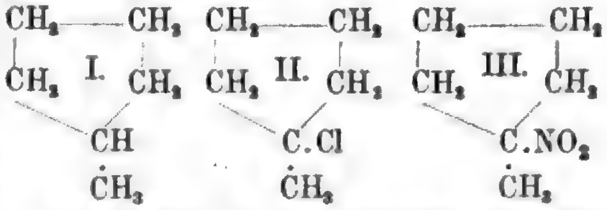
5. **Darstellung technisch reiner Naphtene.** Infolge der geringen Differenz zwischen den Siedepunkten der Unzahl von Isomeren und Homologen, ferner wegen der Gegenwart aromatischer und fetter Kohlenwasserstoffe ist die Darstellung einheitlicher chemischer Individuen aus der russischen Naphta mit den größten Schwierigkeiten verbunden. Salpeterschwefelsäuregemisch verändert die ungesättigten Kohlenwasserstoffe und nitriert die aromatischen Begleiter, während die Naphtene, besonders bei niedrigen Temperaturen, fast unangegriffen bleiben. Die Trennung nimmt man in der Weise vor, daß man das Erdöl in Fraktionen von 10 zu 10° abteilt und die Fraktionen mit 10% konz. Schwefelsäure schüttelt. Nach Entfernung des Säureteers setzt man allmählich das halbe Volumen Salpeterschwefelsäuregemisch zu, wobei man anfangs mit Eis kühlt. Nach dem Waschen mit verdünnter Natronlauge trennt man Nitroprodukte, die teilweise in das Naphtengemisch übergehen, durch Fraktionieren ab. Zur Entfernung von Benzol, das durch Nitrieren nicht völlig zurückgehalten wird, versetzt man mit etwas Triphenylmethan, womit nach Markownikow das Benzol eine kristallisierende Verbindung bildet. Zur Trocknung destilliert man die Naphtene über metallischem Natrium. Als geeignetstes Ausgangsmaterial kommt die Naphta von Balachany (mit 90% Naphtenen) in Betracht.

6. **Darstellung von chemisch reinen Naphtenen aus Erdöl.** Eine gute Methode, um reine Naphtene zu gewinnen, ist nach Markownikow das Erhitzen ihrer Amine mit HJ auf 250°. Oder man geht von den Bromiden und Jodiden aus, die nach Zelinsky durch ein Zinkkupferpaar und Salzsäure in die betreffenden Kohlenwasserstoffe übergeführt werden. Endlich kann man die Naphtene mittels der Friedel-Craftsschen Reaktion in Ketone überführen und aus diesen durch Verwandlung in ihre Semikarbazone kristallisierbare Abkömmlinge darstellen (Zelinsky). Auch durch starke Abkühlung lassen sich Naphtene zum Kristallisieren bringen (Markownikow). Hexanaphten erstarrt so bei —46°, nach dem Absaugen des Kristallbreies und Auftauen jedoch schon bei —11°.

7. **Verwendung.** Die Naphtene zeigen als hydrierte Ringsysteme gewisse Analogie mit den Terpenen. Manche Terpene wie Pinen lassen sich durch Reduktion mit HJ in naphtenartige, gesättigte Kohlenwasserstoffe wie $C_{10}H_{20}$ überführen. Menthol gibt bei der Reduktion ebenfalls einen mit dem Dekanaphten $C_{10}H_{20}$ des Erdöls isomeren, nach Petroleum riechenden Kohlenwasserstoff. Es ist deshalb nicht ausgeschlossen, daß die Naphtene, besonders die mittels der Friedel-Craftsschen Reaktion aus ihnen dargestellten Ketone, Verwendung zur Darstellung synthetischer Riechstoffe finden können.

Die Natronsalze der Kerosinsäuren lassen sich zur Herstellung von Seifen verwenden, da ihre Lösungen stark schäumen und gut waschen. Sie erteilen jedoch der Wäsche den eigentümlichen Geruch der ungereinigten Säuren, was sich auch durch wiederholt angewandte Oxydation und Reinigung der Naphtensäuren nicht völlig vermeiden läßt.

8. **Eigenschaften einiger natürlicher und künstlicher Naphtene und ihrer Substitutionsprodukte.** Methylcyclopentan (Formel I)



Findet sich in der bei 70° siedenden Fraktion des Erdöls von Apscheron. Entsteht bei der Einwirkung von Natrium auf eine Lösung des Dibromides $CH_2Br.CH_2.CH_2.CH_2.CHBr.CH_3$ in Toluol, ferner aus Methyladipinsäure durch trockene Destilation des Kalksalzes, wobei man das entsprechende Keton erhält, das mit HJ und Phosphor zum Kohlenwasserstoff reduziert wird. Siedepunkt 70 bis 71°. Spezifisches Gewicht 0,7648 bei 0°; 0,7488 bei 20°. Erstarrt nicht bei 79°.

Durch Chlorieren erhält man mehrere Chloride, die bei der Destillation fast vollständig in HCl und ungesättigte Kohlenwasserstoffe zerfallen.

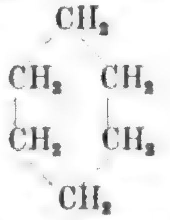
Das tertiäre Chlorid (Formel II) entsteht aus dem entsprechenden Alkohol durch rauchende HCl bei 80 bis 85°. Siedet bei ca. 430 mm Druck unzersetzt bei 97 bis 98°.

Digitized by Google

Nitroprodukte. Die Erdölfraktion 70 bis 73° wird im Bombenrohr mit Salpetersäure vom spez. Gewicht 1,075 9 Stunden auf 115°, nach dem Oeffnen und Wiederzuschmelzen nochmals 9 Stunden erhitzt. Das rohe Nitroprodukt siedet zum größten Teil bei 91° und besteht aus einem Gemisch von sekundärem und tertiärem Nitrokörper, die durch Natriumalkoholat und Natronlauge getrennt werden können. Ersteres ist eine farblose Flüssigkeit vom Siedepunkt 97 bis 99° (bei 40 mm), die nach Anisöl und zugleich nach Nitrobenzol riecht, das tertiäre Methylnitrocyclopentan dagegen (Formel III) siedet bei 92° (40 mm), ist ebenfalls farblos und riecht kampferähnlich.

Amine und deren Salze sind aus den Nitrokörpern darstellbar.

Cyclohexan.

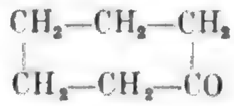


A. Aus kaukasischer Naphta über das Jodid darstellbar. Siedepunkt 80 cis 82°. Spez. Gewicht 0,769 bei 15°, erstarrt bei —46°. Nach dem Absaugen des flüssigen Anteils liegt der Erstarrungspunkt bei —11°.

Chlorid. Durch Einleiten von Chlor bei Abschluß von Sonnenlicht in Wasser, auf dem der Kohlenwasserstoff schwimmt. Siedet bei 142°, spez. Gewicht 0,978 bei 15°.

Nitroprodukt. Entsteht bei 10stündiger Einwirkung von Salpetersäure (1,075) bei 115° im Bombenrohr; gelbliche Flüssigkeit vom Siedepunkt 109° (40 mm), 206° (768 mm), die nach Nitrobenzol riecht. Spez. Gewicht 1,0605 bei 20°.

B. Synthetischer Kohlenwasserstoff. Da früher durch Reduktion selbst des reinsten Benzols (s. oben) kein einheitliches Hexahydrobenzol erhalten wurde, ließ sich Cyclohexan nur aus Succinylobernsteinsäureester durch Reduktion zu Chinit und weiter zum Kohlenwasserstoff darstellen (v. Baeyer) oder durch trockene Destillation des Kalksalzes der Pimelinsäure, wobei das Keton



entsteht, das durch Reduktion den Kohlenwasserstoff liefert (v. Baeyer; Zelinsky). Siedepunkt 81 bis 82°. Spez. Gewicht 0,7764 bei 20° (auf H_2O von 4° bezogen).

Erst die katalytische Hydrierung des Benzols nach Sabatier und Senderens (1897) löste nachträglich das Problem der künstlichen Darstellung der Naphtene aus den entsprechenden aromatischen Substanzen. So entsteht beim Ueberleiten eines Gemisches von Benzoldampf und Wasserstoff über fein verteiltes reduziertes Nickel bei 180 bis 190° in guter Ausbeute ohne Umlagerung und Ringsprengung Cyclohexan. Auf ähnliche Weise lassen sich die Homologen des Benzols reduzieren, also Toluol zu Methylcyclohexan, die Xylole zu den drei Dimethylcyclohexanen.

Auch nach Ipatjew kann durch Hydrierung mit Wasserstoff unter hohem Druck und durch Verwendung von Katalysatoren wie Nickeloxyd oder Eisen die Ueberführung des Benzols in Cyclohexan glatt bewirkt werden.

Cycloheptan, C_7H_{14}, findet sich in der Fraktion 85 bis 105° der Apscheronschen Naphta vor. Siedepunkt 100 bis 101°. Spez. Gewicht 0,7624 bei 17,5°. Einheitliche Chloride wurden nicht mit Sicherheit dargestellt.

Synthetisches Cycloheptan. Beim Behandeln des Perseïts $C_7H_{16}O_7$, eines siebenwertigen Alkohols, mit siedender HJ entsteht Heptin, C_7H_{12}, ein ungesättigter Kohlenwasserstoff, der beim Schütteln mit konz. Schwefelsäure teilweise in Cycloheptan übergeht. Siedepunkt 94 bis 96°. Die Konstitution dieses Kohlenwasserstoffes (vielleicht Hexahydrotoluol?) ist nicht mit Sicherheit erwiesen.

Siedepunkt	von	Octonaphten	C_8H_{16}	aus Erdöl:	119°	Spez.	Gew.	0,7503	b. 18°
„	„	Isooctonaphten	C_8H_{16}	„	„ 122 —124°	„	„	0,7637	b. 18°
„	„	Nononaphten	C_9H_{18}	„	„ 135 —136°	„	„	0,7652	b. 20°
„	„	Dekanaphten	$C_{10}H_{20}$	„	„ 160 —162°	„	„	0,783	b. 15°
„	„	β- „ „	$C_{10}H_{20}$	„	„ 168,5—170°	„	„	0,7929	b. 20°
„	„	Iso „ „	$C_{10}H_{20}$	„	„ 150 —152°	„	„	0,8043	b. 0°
„	„	Hendekanaphten	$C_{11}H_{22}$	„	„ 179 —181°	„	„	0,8119	b. 0°
„	„	Dodekanaphten	$C_{12}H_{24}$	„	„ 197°	„	„	0,8055	b. 14°
„	„	Tetradekanaphten	$C_{14}H_{28}$	„	„ 240 —241°	„	„	0,8390	b. 0°
„	„	Pentadekanaphten	$C_{15}H_{30}$	„	„ 246 —248°	„	„	0,8265	b, 20°

Literatur. **Wischin**, *Naphtene. Braunschweig 1901.* — **O. Aschan**, *Alicyklische Verbindungen. Braunschweig 1905.* — **Muspratt**, *Chemie. Bd. 6, 1898.* — **B. Szelinski**, *Katalyse. Hydrierung nach Sabatier-Senderens sowie nach Jpatjew in:* **Weyl**, *Methoden d. org. Chemie. Leipzig 1909, Bd. II, 289.*

B. Szelinski.

Digitized by Google

Narkose.

1. Begriff der Narkose. 2. Geschichtliches. 3. Anwendungsweisen der Narkose: a) Allgemeinnarkose. b) Lokalanästhesie. c) Lumbalanästhesie. 4. Theorien der Narkose: a) Anämiehypothese. b) Koagulationshypothese von Claude Bernard und Binz. c) Wasserentziehungshypothese von R. Dubois. d) Fettlösungshypothese von Harleß und Bibra. e) Richets Beobachtung. f) Meyer-Overtons Regel. g) Die Narkose als akute Erstickung. 5. Nebenwirkungen der Narcotica. 6. Narkose und Schlaf.

1. Begriff der Narkose. Unter dem Begriff „Narkose" wird eine Gruppe von Lähmungszuständen des Organismenkörpers zusammengefaßt, die unter der Einwirkung von chemischen Stoffen zustande kommen und, falls die Einwirkung nicht zu stark war oder zu lange gedauert hat, nach Beseitigung des chemischen Reizes wieder vollständig verschwinden, ohne eine nachweisbare Spur zu hinterlassen. Die chemischen Stoffe, welche diese lähmenden Wirkungen hervorrufen, werden als „Narcotica" bezeichnet, doch muß betont werden, daß eine scharfe Abgrenzung des Begriffs „Narcoticum" von anderen lähmend wirkenden Stoffen zurzeit nicht möglich ist und daß dementsprechend auch eine scharfe Bestimmung des Narkosebegriffs, die den Begriff „Narkose" von anderen durch chemische Reize hervorgerufenen Lähmungszuständen unterschiede, vorläufig noch nicht gegeben werden kann, wie das vielfach mit Begriffen der Fall ist, die aus älterer Zeit übernommen worden sind. Man wird daher den Begriff „Narkose" am besten rein konventionell beschränken auf die reversiblen Lähmungen, die von bestimmten, traditionell als „Narcotica" bezeichneten chemischen Stoffen hervorgebracht werden.

2. Geschichtliches. Solche narkotisch wirkenden Stoffe, namentlich aus Pflanzensäften gewonnen, sind schon im Altertum bekannt gewesen, wie ja das Wort, das dem Begriff den Namen gegeben hat, aus Homer entnommen ist. Bei Homer (Ilias VIII, 328) kommt das Verbum *ναρκάω*, ich werde gelähmt, vor, allerdings nicht speziell für chemische Lähmungen, sondern für einen Fall von traumatischer Lähmung infolge der Zerreißung eines Nerven resp. einer Sehne. Aber Homer kennt auch die lähmenden Wirkungen von Pflanzenstoffen und erwähnt solche bei verschiedenen Gelegenheiten, und ebenso haben alle Zeiten und alle Völker die lähmenden Wirkungen gewisser Pflanzenstoffe, wie Tabak, Opium, Haschisch usw. gekannt. In die Wissenschaft ist der Begriff der Narkose erst aufgenommen worden, als man anfing, Narcotica als schmerzstillende Mittel zu benutzen, besonders seitdem man den Aether zur Verhütung der Schmerzempfindung bei chirurgischen Operationen zu verwenden begann.

Schon im Anfang der 40er Jahre hat der Mediziner und Chemiker Jackson in Boston an sich selbst die Einatmung von Aetherdämpfen als ein die Schmerzempfindung aufhebendes Mittel erprobt und mehrfach benutzt. Im Jahre 1846 schlug er dem Zahnarzt Morton ebendaselbst sein Verfahren zur Verhütung der Schmerzempfindung bei einer Zahnextraktion und gleich darauf auch für den gleichen Zweck bei chirurgischen Operationen vor. Die Methode bewährte sich so glänzend, daß die Anwendung der Aethernarkose für chirurgische Zwecke sich sehr schnell zunächst in Amerika und alsbald auch in Europa verbreitete. Sehr bald wurden auch andere Stoffe für Narkosezwecke benutzt, so z. B. das Chloroform schon 1847 von Simpson. Seitdem sind zahlreiche verschiedene Narcotica für allgemeine Narkose sowohl wie für lokale Anästhesie empfohlen und im allgemeinen sowohl wie in speziellen Fällen verwendet worden, doch hat kein Narcoticum für die Narkose bei chirurgischen Operationen den Aether und das Chloroform zu verdrängen vermocht.

3. Anwendungsweisen der Narkose. 3a) Allgemeinnarkose. Der Zweck, den die Narkose bei ihrer Verwendung in der Chirurgie verfolgt, ist ausschließlich die Ausschaltung der Schmerzempfindung. Dieser Zweck kann auf verschiedene Weise erreicht werden, einerseits durch sogenannte „allgemeine Narkose" andererseits durch „lokale Narkose".

Bei der sogenannten allgemeinen Narkose wird das Narcoticum (Aether, Chloroform, Chloräthyl, Bromäthyl, Lachgas usw.) eingeatmet, von den Lungen an das Blut abgegeben und im Blute den sämtlichen Geweben und Zellen des Körpers zugeführt. Allein es wirkt durchaus nicht in gleichem Maße auf die verschiedenen Gewebe des Körpers, vielmehr hat sich gezeigt, daß die Zellen des zentralen Nervensystems und vor allem die Zellen der Großhirnrinde in ganz besonderem Maße leicht und schnell gelähmt werden durch die Narcotica. Da die Zellen der Großhirnrinde der Sitz derjenigen physiologischen Vorgänge sind, welche die Bedingungen für den Ablauf der Bewußtseinstätigkeit bilden, so genügt für chirurgische Zwecke eine solche Dosis des Narcoticums, welche eben ausreicht, gerade denjenigen Grad von Lähmung der Großhirnrinde herbeizuführen, bei dem die Bewußtseinstätigkeit aufhört. Bei dieser Dosierung des Narcoticums aber sind die tieferen Teile des zentralen Nervensystems und besonders auch andere Gewebe noch keines-

Digitized by Google

wegs merklich gelähmt. Es ist daher kein ganz genauer Ausdruck, wenn man diese Applikationsmethode wie üblich als „allgemeine" Narkose bezeichnet. In der besonders hervorragenden Empfindlichkeit der Zellen des Großhirns für die Narcotica liegt der große methodische Wert der „allgemeinen" oder, wie man besser sagen kann, der Inhalationsnarkose. Während man in der früheren Zeit der Anwendung von Aether und Chloroform nicht selten Todesfälle infolge der Narkose auftreten sah, ist durch die Fülle von Erfahrungen, die sich aus dem systematischen Studium der Narkose ergeben hat, die Gefahr jetzt fast völlig ausgeschlossen. Ein vorsichtiger und gewissenhafter Narkotiseur erlebt heute kaum noch einen Todesfall. Das ist aber nur möglich geworden durch peinliche Berücksichtigung bestimmter Vorsichtsmaßregeln. Der Patient muß genau auf den Zustand seines Herzens, seines Gefäßsystems und seiner Atemorgane untersucht sein. Manche Herz- und Lungenkrankheiten sind von vornherein von der Narkose auszuschließen. Die Narkose muß mit minimalen Dosen des Narcoticums beginnen und darf nur allmählich gesteigert werden. Am zweckmäßigsten dient zur Dosierung die Tropfenmethode, die darin besteht, daß man auf ein über Mund und Nase gelegtes und mit Flanell überzogenes Drahtgestell, die sogenannte „Maske" den Aether oder das Chloroform nur tropfenweise aus einer Tropfflasche auffließen läßt. Selbstverständlich dürfen nur vollkommen reine Narcotica zur Anwendung kommen. Außerdem muß dafür gesorgt werden, daß immer genügender Luftzutritt stattfindet, was die Einrichtung der Maske gestattet. Auch sind besondere Apparate von Junker, Kappeler, Dubois und anderen konstruiert worden, welche es gestatten, das Narcoticum in abstufbarem Verhältnis mit Luft zu mischen. Während der Narkose muß andauernd der Puls zur Beurteilung der Herztätigkeit, die Atmung, der Lidreflex und die Pupillenreaktion zur Beurteilung des Zustandes der tiefer gelegenen Gehirnzentra beobachtet werden. Schließlich darf die Narkose nicht allzu lange ausgedehnt werden, Chloroformnarkose jedenfalls nicht viel länger als eine Stunde. Wegen dieser zahlreichen Vorsichtsmaßregeln, die andauernd beachtet werden müssen, ist es wichtig, daß niemals der Operateur selbst, sondern ein anderer Arzt oder Assistent die Narkose überwacht. Das hat in Amerika dazu geführt, daß sich unter den Aerzten besondere Spezialisten für Narkose herausgebildet haben, genau wie Spezialisten für Augen- oder Frauenkrankheiten usw. Statt des Weges der Einatmung hat man auch andere Wege benutzt, um allgemeine Narkose herbeizuführen. So wird z. B. für die Morphiumnarkose beim Menschen vorzugsweise der Weg der subkutanen Injektion gewählt, indem man das Narcoticum mittels einer Pravazschen Spritze unter die Haut spritzt, von wo aus es in die Lymph- und Blutgefäße resorbiert wird. So gelangt das Narcoticum auch auf diesem Wege in den allgemeinen Kreislauf. Für die Narkose von Tieren bei vivisektorischen Experimenten wird ebenfalls meist der Weg der subkutanen Injektion benutzt, speziell für Morphium- und Chloralhydratnarkose. Vielfach pflegt man bei der Narkose auch beide Wege zu kombinieren, indem man Morphium oder Chloralhydrat vorher subkutan, Aether oder Chloroform während der Operation auf respiratorischem Wege zuführt. Endlich ist auch der Weg der intravenösen Injektion des Narcoticums gelegentlich benutzt worden und gerade in neuerer Zeit auch für den Menschen. Er hat vor der Methode der subkutanen Injektion den großen Vorzug, daß das Narcoticum momentan in die Zirkulation gelangt und sehr schnell seine Wirkung entfalten kann.

3b) Lokalanästhesie. Der sogenannten „Allgemeinnarkose" gegenüber steht die „lokale Anästhesie", bei der es sich lediglich darum handelt, die Schmerzempfindung von der Operationsstelle aus zu verhindern. Am einfachsten ist die Lokalanästhesie bei Operationen an der Haut. Hier wird ein Aetherspray oder eine Cocainaufpinselung resp. eine Cocaininjektion am häufigsten verwendet. Dadurch werden die Enden der sensiblen Hautnerven an Ort und Stelle gelähmt, so daß sie bei Reizung keine Erregungen zu den zentralen Teilen und vor allem zum Gehirn übertragen und daher keine Schmerzempfindung vermitteln können, obwohl das Bewußtsein vollkommen intakt ist. Schließlich hat man in neuerer Zeit noch einen anderen Weg beschritten, um eine partielle Narkose größerer Körpergebiete ohne Lähmung des Bewußtseins zu erzielen.

3c) Lumbalanästhesie. Besonders für Operationen an den Organen des Unterleibes und an den unteren Extremitäten ist die sogenannte „Lumbalanästhesie" eingeführt worden, bei der durch Injektion von Cocain oder Cocainderivaten in den Rückenmarkskanal der Lendenregion eine Lähmung der zentralen Stationen für die sensiblen Nervenfasern des unteren Körperabschnitts entsteht, so daß die Erregungsleitung an dieser Stelle eine Unterbrechung erfährt und die Erregung nicht bis zu den sensorischen Zentren der Großhirnrinde hinaufgelangt. Die Patienten sind daher während dessen bei vollem Bewußtsein, ohne von der Operation das geringste zu spüren.

Digitized by Google

4. Theorien der Narkose. Die eminente Bedeutung der Narkose für die praktische Medizin führte sehr bald zu einer eingehenderen theoretischen Beschäftigung mit dem eigentümlichen Lähmungszustande, den die Narcotica hervorrufen. Hatte die praktische Verwendung der Narcotica lediglich die Ausschaltung der Schmerzempfindungen oder bei der Verwendung der Narcotica als sogenannte Schlafmittel die Aufhebung des Bewußtseinslebens im allgemeinen im Auge, so ergab sich bei dem theoretischen Studium der Narcotica und ihrer Wirkungsweise, die physiologisch höchst wichtige Tatsache, daß gewisse chemische Stoffe existieren, welche alle lebendigen Substanzen zu lähmen vermögen, und zwar bei gewissen Dosierungen so, daß nach Entfernung dieser Stoffe die Lebenstätigkeit wieder zurückkehrt. Claude Bernard hat durch eine Reihe systematisch durchgeführter Versuche zuerst nachweisen können, daß Pflanzen und einzellige Organismen durch gewisse Narcotica ebenso für Reize unerregbar gemacht werden, wie Tiere.

Solche allgemeinen Narcotica sind vor allem Alkohol, Aether, Chloroform, Chloralhydrat, Chloräthyl, Bromäthyl, Stickstoffoxydul und Kohlensäure. Diesen allgemeinen Narcoticis stehen Stoffe gegenüber, die nur bei einzelnen Formen der lebendigen Substanz reversible Lähmungswirkungen hervorrufen, und die man deswegen als spezielle Narcotica bezeichnen kann. So lähmt z. B. das in der physiologischen Methodik so viel verwendete südamerikanische Pfeilgift Curare, oder das in ihm enthaltene Curarin speziell nur die Nervenendapparate in den Muskeln, so daß keine Impulse mehr vom Zentralnervensystem über die gelähmten Punkte hinweg zu den Muskeln hin gelangen können. Indessen, da sich der Begriff des Narcoticums nicht scharf begrenzen läßt, bleibt es zweifelhaft, ob man diese speziellen Narcotica überhaupt als echte Narcotica auffassen darf.

Der Begriff der Narkose und des Narcoticums wird sich erst genau fixieren lassen, wenn man den Mechanismus der Wirkung dieser Gruppe von Stoffen in der lebendigen Substanz bis zu einem gewissen Grade analysiert und gefunden haben wird, daß eine einheitliche Gruppe von Narcoticis existiert, deren Wirkung in der lebendigen Zelle auf dem gleichen Prinzip beruht. Vorläufig ist eine solche Untersuchung nur für wenige der allgemeinen Narcotica in Angriff genommen worden und die Aufstellung einer definitiven Theorie der Narkose daher zur Zeit noch nicht möglich. Dennoch ist für die gebräuchlichsten unter den allgemeinen Narcoticis, wie Alkohol, Aether, Chloroform bereits mehrfach der Versuch gemacht worden, eine Theorie ihrer Wirkungsweise zu gewinnen.

4a) Anämiehypothese. Die oberflächliche Aehnlichkeit, welche zwischen dem Zustande der Narkose und dem des Schlafes auf den ersten Blick zu bestehen scheint, weil beide Zustände durch den vollständigen Ausfall des Bewußtseins charakterisiert sind, hat schon frühzeitig dazu geführt, Schlaf und Narkose zu identifizieren und die Vorstellungen, die man sich über den Mechanismus des Schlafes machte, auf das Zustandekommen der Narkose zu übertragen. Bezüglich des Schlafes war um die Mitte des verflossenen Jahrhunderts eine Vorstellung sehr verbreitet, welche die „Ursache“ des Schlafes in einer Anämie des Gehirns sah. Man hat die Beobachtung gemacht, daß das Gehirn im Schlaf eine geringere Blutmenge in seinen Gefäßen enthält, weil die Gefäße verengert sind und glaubte hierin den Faktor gefunden zu haben, der den Eintritt des Schlafes bedingt. Es sei hier nur kurz bemerkt, daß diese Theorie des Schlafes aufgegeben werden mußte (vgl. den Artikel „Schlaf“). Auf Grund der Identifizierung von Schlaf und Narkose wandte man diese Theorie des Schlafes auch auf die Narkose an und glaubte, daß das Narcoticum die Gefäße des Gehirns zur Kontraktion bringe und so durch Anämie Bewußtlosigkeit hervorrufe. In der Tat konnte Claude Bernard am Hunde nachweisen, daß im Beginn der Narkose zwar zunächst eine Hyperämie, mit fortschreitender Narkose dann aber sehr bald eine relative Anämie des Gehirns eintritt. Indessen kann diese Anämie deshalb nicht für den Eintritt der Lähmung verantwortlich gemacht werden, weil Kaltblüter eine völlige Unterbrechung der Zirkulation verhältnismäßig lange ohne Lähmung ertragen können, während sie durch das Narcoticum in ganz kurzer Zeit, d. h. schon in einigen Minuten gelähmt werden. Es kann daher die Narkoselähmung nicht auf einer relativen Anämie des Gehirns beruhen.

4b) Koagulationshypothese von Claude Bernard und Binz. Eine andere Theorie der Narkose ist von Claude Bernard aufgestellt worden. Der große französische Physiologe nahm auf Grund der eigentümlichen Starre, in welche die Muskeln des Frosches unter der Einwirkung von Chloroform verfallen, an, daß es sich bei der Narkosewirkung um dieselben Prozesse handele, wie bei der Starre, die durch Wärme am Muskel hervorgerufen wird und die eine gewisse Uebereinstimmung mit der Chloroformstarre zeigt. Von der Wärmestarre wissen wir, daß bei ihr die Gerinnung von Eiweißkörpern eine Rolle spielt, und so faßte Claude Bernard als

Digitized by Google

den Faktor, der den Eintritt der Narkose bedingt, eine „Sémicoagulation" des Protoplasmas auf. Zu einer gleichen Vorstellung kam auch Binz auf Grund seiner mikroksopischen Beobachtungen an Ganglienzellen und einzelligen Organismen, bei denen er unter dem Einfluß von Narcoticis eine Trübung und Granulation des hyalinen Protoplasmas auftreten sah, wie sie für Gerinnungsvorgänge charakteristisch ist. Auch in neuerer Zeit hat man mehrfach mit der Möglichkeit gerechnet, daß die Wirkung des Narcoticums auf einer Aenderung im Aggregatzustande des Protoplasmas beruhe. Indessen, obwohl eine solche Aenderung nicht ausgeschlossen erscheint, ist sie doch bei Einwirkung so geringer Dosen, wie sie zur Herbeiführung deutlicher Lähmung nötig sind, nicht nachgewiesen und es bleibt außerdem zweifelhaft, ob sie, wenn sie tatsächlich vorhanden ist, die Genese der Lähmung überhaupt mit bedingt.

4c) Wasserentziehungshypothese von R. Dubois. Eine dritte Auffassung des Wesens der Narkose ist von R. Dubois geäußert worden. Er beobachtete, daß wasserreiche Pflanzen in einer Atmosphäre von Aetherdampf Wasser in Tropfenform an ihrer Oberfläche transsudieren und stellte auf Grund dieser Tatsache die Hypothese auf, daß die Narkose auf einem Wasserverlust des Protoplasmas beruhe. Indessen Overton, der die früheren Hypothesen über die Wirkungsweise der Narcotica kritisch geprüft hat, konnte schon die Unhaltbarkeit dieser Hypothese von Dubois dartun, indem er darauf aufmerksam machte, daß nicht der Wasseraustritt das Primäre bei der Einwirkung des Narcoticums sei, sondern daß vielmehr das Wasser nur austritt, weil durch Lähmung resp. Absterben des Primordialschlauchs mit dem Nachlassen des Turgors die elastische Spannung der Pflanzenzellen aufhört, so daß das Wasser durch die Entspannung der Zellwände ausgepreßt wird.

4d) Fettlösungshypothese von Harleß und Bibra. Eine vierte Reihe von Erklärungsversuchen der Narkose geht aus von den Löslichkeitsverhältnissen zwischen den Narcoticis und gewissen Stoffen des Zellkörpers. Wenn man die chemische Konstitution der Narcotica betrachtet, so findet man eine völlige Verschiedenheit, die keinerlei gemeinschaftliches Moment bei den mannigfaltigen Stoffen erkennen läßt, welche narkotische Wirkungen ausüben. Diese Tatsache spricht dafür, daß die Wirkung der Narcotica keine rein chemische sein dürfte, sondern daß physikalische Faktoren dabei wenigstens mit beteiligt sind. Einen Faktor dieser Art, der schon frühzeitig zur Erklärung herangezogen worden ist, stellt die Löslichkeit vor. Bereits im Jahre 1847 haben Bibra und Harleß darauf hingewiesen, daß die damals gebräuchlichen Narcotica, wie Alkohol, Aether, Chloroform sämtlich Stoffe sind, in denen sich Fette leicht lösen. Sie sprachen daher die Vermutung aus, daß die Narcotica ihre lähmende Wirkung entfalten, indem sie die Gehirnfette in den Ganglienzellen lösen und extrahieren. Hermann hat später eine ähnliche Anschauung geäußert. Indessen ein so einfaches Verhältnis kann für die Narkose nicht in Betracht kommen, da, wie Overton bereits bemerkt hat, die Konzentration vieler Narcotica, z. B. des Chloroforms, welche notwendig ist, um eine lähmende Wirkung zu entfalten, viel zu gering ist, um die Fette in nennenswerter Weise durch Auslaugung aus den Zellen zu entfernen.

4e) Richets Beobachtung. Später hat Richet die Aufmerksamkeit auf die Löslichkeitsbeziehungen zwischen den Narcoticis und Wasser gelenkt. Er beobachtete, daß die Narcotica im allgemeinen um so stärker lähmend wirken, je schwerer sie in Wasser löslich sind. Indessen, es liegt auf der Hand, daß dieses Löslichkeitsverhalten der Narcotica im Wasser allein auch nicht maßgebend für die Stärke der narkotischen Wirkung sein kann, denn es kommt offenbar auch noch die Löslichkeit der Narcotica in anderen Stoffen in Betracht, sonst würden diese Stoffe, je schwerer sie in Wasser löslich sind, auch um so schwerer in die Zelle eindringen und hier eine um so geringere Wirkung entfalten.

4f) Meyer-Overtons-Regel. Eine genauere Erkenntnis der Bedeutung des Löslichkeitsverhaltens haben erst Meyer und Overton gewonnen. Beide Forscher fanden gleichzeitig und unabhängig voneinander die Tatsache, daß für die narkotisierende Wirkung das relative Löslichkeitsverhalten des betreffenden Stoffes in Wasser und Fetten oder fettähnlichen Körpern (Lipoiden) in Betracht kommt. Es gelang ihnen auch, die Abhängigkeit der narkotischen Wirkung von diesem Löslichkeitsverhalten der Narcotica im Wasser einerseits und in Fetten oder Lipoiden andererseits durch eine große Zahl von Experimenten in ihrer Gesetzmäßigkeit zu formulieren. Wenn man die Löslichkeit eines Narcoticums in Fett oder Oel und darauf in Wasser feststellt, so findet man, daß sich das Narcoticum in einer immer gleichbleibenden Menge in Wasser und ebenso in einer anderen, ebenfalls immer gleichbleibenden Menge in Oel löst. Schüttelt man nun das betreffende Narcoticum mit einem aus gleichen Teilen Wasser und Oel bestehenden Gemisch und

Digitized by Google

läßt man alsdann die beiden miteinander nur mechanisch gemischten Flüssigkeiten sich wieder voneinander scheiden, wobei sich das Wasser unten, das Oel oben absetzt, so kann man durch Analyse der Menge des Narcoticums, die sich in beiden gelöst hat, feststellen, daß sich das Narcoticum genau proportional seinem Löslichkeitsverhältnis in Wasser einerseits und Oel andererseits zwischen den beiden Flüssigkeiten verteilt hat, gleichgültig, welche absoluten Mengen des Narcoticums für die Lösung benutzt worden sind. Der Bruch, welcher das Verhältnis der Löslichkeit in Wasser zur Löslichkeit in Fett ausdrückt, wird als der „Teilungskoeffizient" des betreffenden Narcoticums bezeichnet. Verteilt sich also z. B. ein Narcoticum so, daß 10 Teile in Fett, 1 Teil in Wasser gelöst ist, nachdem völliges Gleichgewicht zwischen beiden Lösungen eingetreten ist, so ist sein Teilungskoeffizient $= \frac{10}{1}$, d. h. $= 10$. Meyer und Overton haben nun durch Untersuchung einer großen Zahl verschiedenartiger Narcotica, indem sie ihren Teilungskoeffizienten mit ihrer narkotischen Wirksamkeit verglichen, die Gesetzmäßigkeit feststellen können, daß die Stärke der lähmenden Wirkung eines Narcoticums abhängig ist von der Größe seines Teilungskoeffizienten zwischen Wasser und den Zelllipoiden. Die stärkste narkotisierende Wirkung entfalten diejenigen Narcotica, welche bei sehr geringer Löslichkeit in Wasser eine sehr große Löslichkeit in den Lipoiden besitzen, wie z. B. Chloroform. Diese Feststellung von Overton und Meyer ist durch spätere Untersuchungen mehrfach bestätigt worden, wenn es sich auch gezeigt hat, daß es Stoffe gibt, die sich dieser Gesetzmäßigkeit nicht fügen, während sie doch andererseits starke Lähmungswirkungen hervorrufen.

Mit dieser von Meyer und Overton festgestellten Gesetzmäßigkeit ist eine wichtige Bedingung für die Entstehung der Narkose ermittelt, aber es ist doch damit noch keine Theorie der Narkose gegeben. Der Mechanismus der Narkose bleibt dabei noch immer unaufgeklärt, denn die Annahme von Meyer und Overton, daß mit dem Eindringen der Narcotica in die Lipoide der Zelle eine Zustandsänderung dieser Stoffe verknüpft sei, die eine Lähmung der Zelltätigkeit im Gefolge habe, liefert keinerlei Analyse des Mechanismus dieser Lähmung.

4g) Die Narkose als akute Erstickung. Um für den Mechanismus der Narkose ein tieferes Verständnis zu gewinnen, ist es nötig, die Veränderungen zu analysieren, die der normale Zellstoffwechsel unter dem Einfluß der Narcotica erfährt, und so die Genese der Lähmung zu bestimmen. Das ist bei der lückenhaften Kenntnis des Stoffwechsels eine schwierige Aufgabe und so wird eine „Theorie der Narkose" auch nur in dem Maße sich entwickeln können, wie unsere Erkenntnis des normalen Stoffwechsels vorschreitet. Indessen sind doch bereits einige wichtige und grundlegende Tatsachen in der Frage, wie der normale Zellstoffwechsel unter dem Einfluß der Narcotica verändert wird, festgestellt und so die Grundsteine für eine Theorie der Narkose gelegt worden.

Der normale Ruhestoffwechsel der Zelle, wie wir ihn sich vollziehend denken, wenn keine äußeren Reize auf die Zelle einwirken würden, stellt bekanntlich ein sehr verwickeltes System von zahlreichen, teils sukzessiv, teils simultan ineinander verflochtenen Partialprozessen dar, unter denen wir Synthesen sowohl wie Spaltungsvorgänge in jeder Zelle nachweisen können. Die Summe der aufbauenden Prozesse, die wir im Anschluß an Hering als Assimilationsphase des Stoffwechsels und die Summe der abbauenden oder Zerfallsprozesse, die wir als Dissimilationsphase bezeichnen können, befinden sich im Ruhestoffwechsel, wenn wir absehen von den sehr langsam sich vollziehenden Entwickelungsveränderungen, im Gleichgewicht. Dieses Stoffwechselgleichgewicht wird durch Faktoren, welche von außen auf die Zelle einwirken und die wir als Reize bezeichnen, gestört (vgl. darüber den Artikel „Irritabilität"), indem einzelne Partialprozesse des Stoffwechsels durch den Reiz beschleunigt oder verzögert werden. Bei der untrennbar engen Verknüpfung der einzelnen Glieder des Stoffwechsels untereinander muß jede Veränderung in dem Geschwindigkeitsablauf eines Gliedes auch korrelative Veränderungen in der Geschwindigkeit anderer Glieder hervorbringen und so entstehen Erregungen oder Lähmungen der normalen Lebensäußerungen. Bei der großen Zahl der einzelnen Stoffwechselglieder und bei der großen Mannigfaltigkeit der Reize, die von außen auf die Zelle einwirken können, ist von vornherein die Möglichkeit einer sehr großen Fülle von Erregungs- und Lähmungswirkungen sehr verschiedener Entstehungsart gegeben, je nachdem dieser oder jener Partialprozeß des Stoffwechsels primär von dem äußeren Faktor beeinflußt wird. Es hat sich indessen gezeigt, daß bestimmte Glieder des gesamten Stoffwechsels eine ganz besondere Neigung haben, auf ganz heterogene Einwirkungen immer in erster Linie zu reagieren, während die anderen erst sekundär und eventuell in geringerem Grade von diesem primär beeinflußten Gliede aus in Mitleidenschaft gezogen werden. Bei den aeroben Organismen (vgl. den Artikel „Atmung"), die, weil

Digitized by Google

sie die ganz überwiegende große Masse aller Organismen bilden, bisher am eingehendsten untersucht worden sind, sind es in erster Linie die oxydativen Zerfallsprozesse, welche den primären Angriffspunkt der verschiedenartigsten äußeren Einwirkungen bilden. Der Zerfall komplizierter labiler organischer Verbindungen der Zelle wird durch den Reiz entweder erregt oder gelähmt. Für die Beurteilung der Narkose kommen nun speziell die lähmenden Wirkungen der Reize in Betracht. Wir kennen eine ganze Anzahl von Lähmungen, bei denen der Ausgangspunkt in einem absoluten oder relativen Versagen der Oxydationsprozesse liegt. So beruht selbstverständlich vor allen Dingen die Lähmung, die bei der Erstickung eintritt, auf einem allmählichen Aufhören der Oxydationsprozesse; so entspricht die Lähmung, die als Ermüdung bei andauernder starker Tätigkeit der lebendigen Substanz auftritt, ebenfalls auf einem relativen Sauerstoffmangel und dem unzureichenden Umfang der Oxydationsprozesse; so beruht die Wärmelähmung auf dem gleichen Prinzip; so beruht auch die Lähmung durch Vergiftung mit Blausäure auf einer Unterdrückung der Oxydationen usf. Es fragt sich daher, ob nicht auch die Lähmung unter dem Einfluß der Narcotica dieser großen und weit verbreiteten Gruppe von Lähmungsvorgängen angehört.

In der Tat hat eine längere Reihe von Versuchen, die an verschiedenen tierischen Geweben, wie Nervenzentren (Winterstein), Nervenfasern (Verworn, Fröhlich, Heaton), Eizellen (Warburg), Blutzellen (Warburg), Amöben (Ischikawa) usw. angestellt worden sind, gezeigt, daß das Narcoticum die Oxydationsprozesse in der Zelle unterdrückt, und zwar innerhalb der Breiten seiner lähmenden Wirkung, innerhalb deren durch Aufhebung der Narkose eine vollständige Restitution möglich ist. Ermüdet man z. B. bei einem Frosch, bei dem eine künstliche Zirkulation mit sauerstofffreier Salzlösung an Stelle der Blutzirkulation eingerichtet ist, die Rückenmarkszentra so stark, daß sie vollständig unerregbar geworden sind, so kann eine Erholung nur wieder zustande kommen, wenn den Zentren durch die künstliche Zirkulation wieder Sauerstoff zur Verfügung gestellt wird (Verworn). Unter diesen Umständen erholen sich die Zentra in kurzer Zeit. Sie erweisen sich also in der Ermüdung als besonders sauerstoffbedürftig. Narkotisiert man dagegen die völlig ermüdeten Zentra und stellt man ihnen während der Narkose Sauerstoff zur Verfügung, so vermögen sie diesen Sauerstoff nicht zu verwerten und zeigen sich nach der Abstellung der Sauerstoffzufuhr und Aufhebung der Narkose nicht erholt, um sich erst wieder zu erholen, wenn ihnen Sauerstoff ohne Narkose geboten wird (Winterstein). Noch deutlicher tritt die Unfähigkeit der lebendigen Substanz, in der Narkose den gebotenen Sauerstoff zu verwerten, bei den Versuchen am Nerven hervor. Läßt man einen Nerven in reinem Stickstoff ersticken, wie es zuerst H. von Baeyer ausgeführt hat, und narkotisiert man den Nerven, wenn seine Erregbarkeit auf einen bestimmten Grad gesunken und seine Erregungsleitungsfähigkeit verschwunden ist, so kann man ihm während der Narkose lange Zeit reinen Sauerstoff zur Verfügung stellen, ohne daß er sich nach Abstellung der Sauerstoffzufuhr und Aufhebung der Narkose im geringsten erholt zeigte, während nach Aufhebung der Narkose eine Zufuhr von Luft selbst von weniger als einer Minute Dauer eine vollständige und langandauernde Erholung des Nerven im Gefolge hat (Verworn, Fröhlich, Heaton). Diese Ergebnisse beweisen, daß während der Narkose in der lebendigen Substanz die Oxydationsprozesse herabgesetzt resp. vollständig unterdrückt sind, und daß die lebendige Substanz trotz größten Sauerstoffbedarfs und trotz reichlichster Zufuhr von Sauerstoff den letzteren während der Narkose nicht verwenden kann.

Diese Tatsachen legen bereits die Vermutung nahe, daß bei der Narkose die Lähmung die gleiche Genese hat wie bei der Erstickung in einem sauerstofffreien, indifferenten Medium. Bei der Erstickung entsteht die Lähmung dadurch, daß nach Abschluß der äußeren Sauerstoffzufuhr die geringe Menge von Sauerstoff, welche noch in der lebendigen Substanz vorhanden ist, allmählich verbraucht wird, und daß infolgedessen der oxydative Zerfall allmählich immer mehr in einen anoxydativen Zerfall übergeht. Die Energieproduktion, d. h. die spezifische Leistung und Erregbarkeit der lebendigen Substanz ist aber unverhältnismäßig größer bei oxydativem als bei anoxydativem Zerfall, weil im ersteren Falle die komplexen organischen Verbindungen bis zu den einfachsten Endprodukten des Stoffwechsels, Kohlensäure und Wasser, im letzteren Falle nur bis zu organischen Bruchstücken, wie Milchsäure, Fettsäuren usw. zerfallen. Die Dissimilationsphase des Stoffwechsels besteht also auch in der Erstickung noch fort, aber sie führt nicht mehr bis zu den letzten Endprodukten und liefert daher nicht mehr die Energiemenge, welche die Hauptenergiequellen des Organismus, die Oxydationsprozesse, liefern. Wenn nun die Narkoselähmung ebenfalls auf einer Erstickung beruht, so muß sich vor allen Dingen nachweisen lassen, daß während der

Digitized by Google

Narkose wirklich eine Erstickung stattfindet, d. h. daß der Zerfall der lebendigen Substanz in anoxydativer Form fortbesteht. Das ist durch die Versuche von Verworn, Fröhlich und Heaton tatsächlich festgestellt worden. Ein Nerv, der sich in einer reinen Stickstoffatmosphäre befindet, erstickt auch, wenn er gleichzeitig narkotisiert ist, wie daraus hervorgeht, daß er sich nach Aufhebung der Narkose in Stickstoff je nach der Dauer der Narkose nur unvollkommen oder gar nicht erholt, während er bei Luftzufuhr seine Erregbarkeit und Leitfähigkeit vollständig wieder gewinnt. Ja, wie Heaton gezeigt hat, erstickt ein Nerv, der in Luft narkotisiert wird, ebenfalls während der Narkose, obwohl ihm dauernd Sauerstoff zur Verfügung steht. Dieses Verhalten mußte von vornherein erwartet werden, nachdem sich gezeigt hatte, daß der Nerv einerseits während der Narkose den ihm zur Verfügung gestellten Sauerstoff nicht verwerten kann, andererseits aber doch eine Fortdauer seiner dissimilatorischen Zerfallsphase erfährt. Alle diese Tatsachen zeigen, daß die lebendige Substanz während der Narkose wirklich erstickt.

Wenn es demnach keinem Zweifel unterliegt, daß während der Narkose eine Erstickung der lebendigen Substanz eintritt, so ist die Lähmung, welche die Narkose charakterisiert, nicht nur aus diesem Punkte verständlich, sondern sie muß direkt erwartet werden. Tatsächlich sind die einzelnen Symptome der Lähmung bei Narkose und Erstickung identisch: Die Erregbarkeit für Reize nimmt ab, die Erregungsleitung vom Punkte des Reizes aus erfährt eine immer weiter gehende Einschränkung ihres räumlichen Umfanges, die Zerfallsphase des Stoffwechsels besteht in anoxydativer Form fort und kann, wie aus Heatons Untersuchungen hervorgeht, auch durch Reize noch gesteigert werden und das Refraktärstadium, d. h. das Stadium der Unerregbarkeit, welches jeder Reizwirkung folgt, wird immer länger (vgl. den Artikel „Irritabilität"). Nur in einem Punkte besteht eine Differenz zwischen Narkose und Erstickung, die einer Identifizierung beider Lähmungsvorgänge Schwierigkeiten in den Weg zu legen scheint. Der zeitliche Verlauf des Eintritts der Lähmung ist in beiden Fällen ein sehr verschiedener. Erstickt man z. B. einen Nerven in reinem Stickstoff, so dauert es bei Nerven von kräftigen Winterfröschen etwa 2 bis 3 Stunden bis die Erregbarkeit so weit herabgesetzt ist, daß die Leitfähigkeit in einer 2 cm langen erstickenden Strecke verschwindet. Narkotisiert man dagegen denselben Nerven unter den gleichen Bedingungen, so ist bereits nach einigen Minuten der gleiche Grad der Erregbarkeitsherabsetzung erreicht. Indessen diese Differenz wird sofort verständlich, wenn man sich die Bedingungen vergegenwärtigt, unter denen die Erstickung erfolgt. Sie sind in beiden Fällen verschieden. Bei Erstickung in reinem Stickstoff kann der Nerv auf Kosten der geringen in ihm enthaltenen Sauerstoffmenge, deren Existenz aus verschiedenen Gründen angenommen werden muß, noch eine Zeitlang in langsam abnehmendem Maße einen oxydativen Zerfall unterhalten, bis der sämtliche intraprotoplasmatische Sauerstoff verbraucht ist. Die Erregbarkeit sinkt infolgedessen nur äußerst langsam. Bei der Narkose dagegen ist die lebendige Substanz unfähig, überhaupt Oxydationen zu vollziehen, wie aus den oben zitierten Versuchen hervorgeht. Sie kann also auch den in ihr selbst vorhandenen Sauerstoff nicht verwerten und steht daher schon vom Beginn der Narkose an unter Sauerstoffmangel, der mit der Tiefe der Narkose zunimmt. Infolgedessen geht der oxydative Zerfall sehr schnell in den anoxydativen Zerfall über und die Erregbarkeit sinkt rapide. Bei der Lähmung in reinem Stickstoff handelt es sich also um eine langsame, bei der Lähmung durch das Narcoticum um eine ganz akute Erstickung. Darauf beruht die zeitliche Differenz im Eintritt der Lähmung. Im übrigen ergeben sich alle Lähmungssymptome der Narkose ohne weiteres als Konsequenzen aus der Erstickung.

Damit ist nun aber noch keineswegs eine fertige Theorie der Narkose gegeben, denn es entsteht sofort die weitere Frage, auf welche Weise das Narcoticum die Oxydationsprozesse unterdrückt. Zur Beantwortung dieser Frage fehlen vorläufig noch die nötigen Erfahrungen. Bei der Rolle, die nach Meyers und Overtons Untersuchungen die Löslichkeit der Narcotica in den Zelllipoiden spielt, wäre daran zu denken, daß durch irgendeine Veränderung, die das Narcoticum in den Lipoiden hervorruft, die Oxydationen gehindert würden. Da wir uns das Zustandekommen der Oxydationen in der Zelle durch die Vermittelung von Sauerstoffüberträgern erfolgend denken, so wäre auch die Möglichkeit zu erwägen, daß die Narcotica diese Sauerstoffüberträger unfähig machen, den Sauerstoff zu den Oxydationsmaterialien zu übertragen, so wie die allerverschiedensten Stoffe, wie Blausäure, Ammoniumsulfid, Sublimat usw. auch die Sauerstoffübertragung durch Platinmoor bei der Wasserstoffsuperoxydkatalyse hemmen (Bredig). Indessen, das sind lediglich Möglichkeiten, die erst einer genaueren Prüfung bedürfen.

5. Nebenwirkungen der Narcotica. Endlich darf nicht übersehen werden, daß die

Digitized by Google

narkotische, d. h. die durch reversible Lähmungen charakterisierte Wirkung nicht die einzige Wirkung der Narcotica ist. Die narkotisch wirkenden Stoffe haben meist auch noch Nebenwirkungen. So ist bei der Anwendung vieler Narcotica im Beginn der Wirkung oder bei Verwendung sehr geringer Dosen eine erregende Wirkung beobachtet worden ein sogenanntes Exzitationsstadium. das sich nicht nur bei der Allgemeinnarkose des Menschen, sondern auch bei einzelligen Organismen wie Infusorien (Nagai) und Amöben (Ischikawa) gefunden hat, das dagegen beim Nerven fehlt. Ferner ruft das Narcoticum bei zu starker Dosierung irreparable Veränderungen hervor, die den Tod bedingen und die z. B. bei einzelligen Organismen auch mikroskopisch in einer Trübung und Granulierung des Protoplasmas zum Ausdruck kommen (Binz, Verworn). Es ist nicht wahrscheinlich, daß diese Nebenwirkungen ebenfalls aus dem einen Punkte der Oxydationslähmung in der Zelle entspringen, doch fehlt für die Genese dieser Nebenwirkungen bisher noch jede Analyse.

6. Narkose und Schlaf. Zum Schluß bedarf es noch eines kurzen Hinweises auf die unberechtigte Vorstellung von der Identität der Narkose und des Schlafes. Diese Auffassung, die früher lediglich aus der Tatsache entsprang, daß in beiden Fällen die Bewußtseinsvorgänge eine Unterbrechung erfahren, muß heute im Hinblick auf die oben angeführten Tatsachen einer Behinderung der Oxydationsvorgänge durch die Narcotica aufgegeben werden. Nicht alle Lähmungen des Bewußtseins haben die gleiche Genese. Schlaf und Narkose stehen in gewisser Beziehung sogar in einem diametralen Gegensatz. Beim Schlaf, wo die Unterbrechung der Bewußtseinstätigkeit zum geringeren Teil durch die Abnahme der Erregbarkeit infolge der relativen Ermüdung der Ganglienzellen, zum überwiegenden Teil durch die Ausschaltung der Sinnesreize bedingt ist (vgl. den Artikel „Schlaf"), findet eine Restitution der Erregbarkeit statt in erster Linie unter Mithilfe des Sauerstoffs, wie bei jeder Erholung. Die Erholung durch den Schlaf stellt das physiologisch bedeutsamste Moment des Schlafes vor. Bei der Narkose dagegen sind die Oxydationsprozesse im Gegensatz zum Schlaf gelähmt. Darin liegt die fundamentale Verschiedenheit beider Zustände und von einer Identifizierung kann daher keine Rede sein.

Literatur. **Overton,** *Studien über die Narkose, zugleich ein Beitrag zur allgemeinen Pharmakologie. Jena 1901.* — **Hans Meyer,** *Zur Theorie der Alkoholnarkose. I, II und III. In Arch. f. experimentelle Pathologie und Pharmakologie 1899 und 1901.* — **Claude Bernard,** *Leçons sur les Anesthésiques et sur l'Asphyxie. Paris 1875.* — **Max Verworn,** *Ueber Narkose. Deutsche med. Wochenschrift 1909.* — **Derselbe,** *Narkose. Jena 1912.* — **Bürker,** *Eine neue Theorie der Narkose. Münchener med. Wochenschrift 1910.*

M. Verworn.

Natterer

Johann August.

Geboren am 13. Oktober 1821 in Wien, gestorben 1901 ebenfalls in Wien. Er war praktischer Arzt in Wien, beschäftigte sich mit photographischen Versuchen. 1844 konstruierte er den nach ihm benannten Apparat zur Verflüssigung von Kohlensäure durch Druck und Kälte.

Literatur. *Nekrolog von Bauer, 1901.*

E. Drude.

Naturdenkmalpflege.

1. Naturdenkmäler. 2. Naturdenkmalpflege. 3. Naturschutzgebiet. 4. Geschützte Landschaften. 5. Geschützte Bodengestaltungen. 6. Geschützte Pflanzengemeinschaften. 7. Geschützte Tiere.[1])

1. Naturdenkmäler. Naturdenkmäler sind charakteristische Gebilde der heimatlichen Natur, vornehmlich solche, welche sich noch an ihrer ursprünglichen Stelle befinden und von Eingriffen der Kultur nahezu unberührt geblieben sind, d. h. Teile der Landschaft, Gestaltungen des Erdbodens, Pflanzen- oder Tiergemeinschaften, wie einzelne Arten und Formen. Dieser Begriff ist jedoch nicht von unveränderlicher Form, sondern variabel nach Zeit, Oertlichkeit und anderen Umständen. Wenn es sich zunächst und vor allem um Naturkörper und Lebensgemeinschaften in ursprünglichem Zustand handelt, ist wohl zu berücksichtigen, daß solche in Mitteleuropa und anderen Ländern oft nicht mehr anzutreffen sind. Daher wird man z. B. eine Landschaft, sofern sie sonst bemerkenswert ist, auch wenn sie etwa eine Kiesgrube oder einen Steinbruch aufweist, sowie einen Waldteil, der vielleicht einen Kohlenmeiler oder ein Forsthaus enthält, und einen Wasserfall, von dem schon ein Teil der Wasserkraft genutzt wird, unter Umständen noch als Naturdenkmäler auffassen dürfen. Weiter kann eine Pflanzenformation, welche erst nach Abtrieb eines früher dort befindlichen Waldbestandes hervorgegangen ist, auch zu den Naturdenkmälern

[1]) Die Abschnitte über geschützte Pflanzenarten und über die Organisation sind aus Raummangel hier fortgeblieben.

Digitized by Google

gerechnet werden. Ferner kann der Fall eintreten, daß ein Naturkörper heute ein Naturdenkmal geworden ist, während er es ehedem nicht war. Vor Jahrhunderten war das norddeutsche Flachland noch zum größten Teil mit erratischen Blöcken bedeckt; nachdem aber ihre Nutzung immer größere Dimensionen angenommen hat, sind die noch übriggebliebenen größeren Findlinge jetzt als Naturdenkmäler anzusprechen. Aehnlich verhält es sich mit gewissen Tier- und Pflanzenarten. Edelmarder, Schwarzstorch, Wanderfalk sind so selten geworden, daß sie unter den Naturdenkmäler rangieren; andere, wie Otter und Reiher, werden infolge übertriebener Nachstellung in absehbarer Zeit zu Naturdenkmälern werden. Die Espe (Populus tremula) war in Schweden eine ebenso häufige Holzart wie in Deutschland. Nachdem aber ihr Holz dort zur Zündholzindustrie aufgebraucht ist, gehören die noch vorhandenen Exemplare der Baumart in Schweden zu den Naturdenkmälern des Landes. Auch nach der Gegend variiert der Begriff des Naturdenkmals, da die Tiere, Pflanzen und Gesteinsbildungen verschiedenartig über die Erde verteilt sind. Kiefer und Fichte, Eiche und Rotbuche sind in Deutschland in ursprünglichem Zustand weit verbreitet und häufig; aber an der Grenze ihres Vorkommens werden sie zu Naturdenkmälern von besonderer Bedeutung, so beispielsweise die Buchenbestände in der preussischen Oberförsterei Sadlowo unweit der russischen Grenze, in der schwedischen Oberförsterei Omberg und an der Küste bei Bergen in Norwegen. Die Mistel ist bei uns meist häufig, jedoch in Schleswig-Holstein, wo sie nur an einer Stelle vorkommt (Oberförsterei Segeberg), und in Schweden am Mälarsee, wo sie die Grenze ihrer Verbreitung nach Norden erreicht, gehört sie zu den Naturdenkmälern. Ferner bilden an den nordischen Küsten Gletscherschrammen alltägliche Erscheinungen, während sie in Norddeutschland an den wenigen Stellen, wo sie auf anstehenden Felsen vorkommen, Naturdenkmäler sind. Bei den Naturdenkmälern im engeren Sinne handelt es sich um Gebilde an ursprünglicher Stelle, aber auch in dieser Beziehung wird man in einzelnen Fällen den Begriff etwas weiter fassen müssen. Wenn bei Erdarbeiten unter Tage ein großer erratischer Block angetroffen wird, aber dort nicht liegen bleiben kann, ist seine Translozierung und unveränderte Erhaltung an anderer Stelle anzustreben. Oder wenn eine seltene Wuchsform wie Picea excelsa monocaulis im Gemeindewald angetroffen und zwecks besseren Schutzes in den Garten des Forstamts (Ipsheim) verpflanzt wird, hört jene dadurch nicht auf, ein Naturdenkmal zu sein. Selbst wenn in Gärten ausgezeichnete Wuchsformen entstehen, wie sie sonst nicht leicht wiederzufinden sind (z. B. Picea oder Thuja mit Senkern und Tochterstämmen), würden sie als Naturdenkmäler zu bezeichnen sein. Kurzum, es ist eine Reihe von Faktoren zur Beurteilung eines Naturkörpers als Naturdenkmal maßgebend, und eine Entscheidung kann immer nur von Fall zu Fall getroffen werden.

2. Naturdenkmalpflege. Naturdenkmalpflege umfaßt die Bestrebungen zur Ermittelung, Erforschung und Erhaltung der Naturdenkmäler. Hierfür sind in Deutschland und in anderen Ländern besondere Organisationen geschaffen. Aufgabe der Naturdenkmalpflege ist es, in allen Teilen des Landes und in allen Kreisen der Bevölkerung durch Wort und Schrift aufklärend über den Begriff des Naturdenkmals, über das Vorhandensein von Naturdenkmälern und über die Wichtigkeit ihrer Erhaltung zu wirken. Um die Naturdenkmäler zu ermitteln, soweit sie nicht schon bekannt sind, ist die Aufstellung und Verteilung von Fragebogen erforderlich. In Preußen ist dazu ein allgemeiner Entwurf ausgeführt, der unter Abänderung nach den örtlichen Verhältnissen auch in anderen Ländern Verwendung gefunden hat. Die Antworten auf diese Fragebogen fallen ungleichwertig aus, je nach der Teilnahme und Kenntnis, welche der Ausfertiger dem Gegenstand entgegenbringt. Das eingehende Material ist oft nicht ohne weiteres zu verwerten, sondern bedarf, der Sichtung und Nachprüfung im Gelände. Nach jahrelanger Arbeit wird dann ein möglichst einwandfreies Material zustandekommen, welches den Grundstock für das Inventar der Naturdenkmäler des Landes bildet. Dasselbe ist jedoch zu keiner Zeit fertig und abgeschlossen, zumal unvermeidliche Abgänge und Zugänge mit der fortschreitenden Durchforschung vorkommen werden.

Neben der Verzeichnung kommt die Kartierung der Naturdenkmäler in Betracht, und es ist besonders wichtig, daß die Naturdenkmäler in die Karten verschiedener Art, in die topographischen, geologischen, agronomischen und Forstkarten usw. eingetragen werden. Sodann müssen Negative und Diapositive, Photographien und sonstige Abbildungen von Naturdenkmälern angefertigt und gesammelt werden. Diese Karten und Abbildungen insgesamt machen das Archiv der Naturdenkmäler aus, welches eine reiche Fundgrube für wissenschaftliche Arbeiten und Vorträge aller Art bildet. Was die Veröffentlichung betrifft, so sind in die von der Preußischen Landesaufnahme sowie von der Staatsforstverwaltung herausgegebenen Karten bereits Naturdenkmäler mit

Digitized by Google

Auswahl aufgenommen. Ferner sind Inventare von Naturdenkmälern in Wäldern (Forstbotanische Merkbücher) und weitere Abhandlungen über Naturdenkmäler veröffentlicht. Indessen soll von der Publikation der Standorte seltener Pflanzen und der Nistplätze seltener Vögel abgesehen werden, um diese selbst nicht zu gefährden.

Neben dieser inventarisierenden kommt die praktische Tätigkeit der Naturdenkmalpflege in Betracht. Die Sicherung im Gelände erfolgt am besten dadurch, daß der Besitzer bezw. Verwalter für den Schutz des auf seinem Grund und Boden befindlichen Naturdenkmals gewonnen wird; falls er jedoch nicht dafür Gewähr leistet, ist die Sicherung des Geländes durch Ankauf und Ueberweisung an eine öffentliche Verwaltung anzustreben. Was die Behandlung des geschützten Naturdenkmals betrifft, so soll es möglichst unverändert mit seiner natürlichen Umgebung erhalten bleiben. Allerdings kann in dem einen oder anderen Falle wohl eine Einfriedigung in Betracht kommen, zumal Missetäter durch Uebersteigung derselben einer härteren Strafe verfallen, aber im allgemeinen soll davon abgesehen werden. Ein überall gültiges Schema zum Schutz gefährdeter Naturdenkmäler kann nicht entworfen werden, da sie in jedem einzelnen Fall nach Lage der Verhältnisse, besonders auch unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Interessen zu behandeln sind.

Was die weitere Tätigkeit angeht, so ist vor allem dahin zu wirken, daß eine gesetzliche Unterlage zum Schutz der Naturdenkmäler, auch zur Einrichtung größerer Naturschutzgebiete geschaffen wird. Einige Staaten, wie Hessen, Braunschweig und Oldenburg, haben bei neueren Gesetzen den Schutz von Naturdenkmälern mit eingeschlossen, aber ein Gesetz, welches die hauptsächlichsten Forderungen der Naturdenkmalpflege ganz erfüllt, besteht noch in keinem Lande. Inzwischen ist dafür zu sorgen, daß andere Gesetze, wie Forstgesetz, Vogelschutzgesetz, Fischereigesetz, Wassergesetz, usw. auch der Naturdenkmalpflege gerecht werden. Bis eine besondere Gesetzgebung erreicht wird, bleibt die administrative Mitwirkung von größter Bedeutung. Dazu ist es erforderlich, daß in allen Zweigen der Reichs- und Staatsverwaltung das Interesse für den Gegenstand geweckt und rege erhalten wird. Die einschlägigen Ressorts müssen Erhebungen über die Naturdenkmäler der in ihrem Besitz bezw. in ihrer Verwaltung befindlichen Ländereien veranlassen und die Naturdenkmäler selbst schützen lassen. Bei Austausch und Veräußerung staatlichen Geländes müssen hervorragende Teile der Landschaft und einzelne Denkmäler der Natur dauernd sichergestellt werden. Wenn die Umgebung einer Wasserfläche veräußert wird, kann ein Ufersaum frei bleiben, um jedermann den unmittelbaren Anblick des Sees und den Genuß an der freien Natur zu erhalten. Von der landwirtschaftlichen Verwaltung muß verhindert werden, daß durch Meliorierungen seltene Pflanzen- und Tiergemeinschaften bedroht oder vernichtet werden. Auch ist anzuregen, daß die Vogelwelt durch Erhaltung der Hecken tunlichst gepflegt und geschützt wird. In Preußen werden die Bestrebungen zum Schutz der Vogelwelt im Binnenlande wie an der Küste auch finanziell von der landwirtschaftlichen Verwaltung unterstützt. Die Generalkommissionen in Preußen haben bei Aufteilung und Zusammenlegung von Gelände vielfach auf Erhaltung von Naturdenkmälern (Moräne, erratische Blöcke, Vogelschutzhecke) Rücksicht genommen.

In waldreichen Ländern ist die Forstverwaltung einer der Hauptträger der Naturdenkmalpflege. Bald nach Erscheinen der Denkschrift des Unterzeichneten, 1904, beauftragte der Preußische Minister für Landwirtschaft, Domänen und Forsten die Regierungen, dafür Sorge zu tragen, daß seitens der Revierverwalter den Anregungen jener Schrift, soweit es ohne Beeinträchtigung der wirtschaftlichen Interessen möglich sei, Beachtung geschenkt werde. Zu diesen Anregungen gehörte auch die Einrichtung von Reservaten, in denen Seltenheiten der Natur möglichst vollständigen Schutz gegen kulturelle Eingriffe genießen sollen. Weiter erließ der Minister 1907 eine allgemeine Verfügung, welche von grundlegender Bedeutung ist: Beachtung verdienen nicht nur die durch ihre Größe und Form in das Auge fallenden Gebilde, sondern auch seltene krautartige Pflanzen und Pflanzengemeinschaften. Wo es ohne unverhältnismäßige Opfer möglich ist, sollen Bestände, die durch Urwüchsigkeit und Seltenheit ihrer Holzarten, durch die Form und Stärke der diese zusammensetzenden Stämme oder aus anderen Gründen merkwürdig sind, oder anderen hervorragenden Seltenheiten zum Schutz dienen, auf hinreichend großen Flächen erhalten und erforderlichenfalls in einer von den Vorschriften der Betriebspläne abweichenden, dem verfolgten Zweck entsprechenden Weise behandelt werden. Ferner wird den Regierungen auch die Sorge um die Tierwelt aufgetragen. Welche Arten im allgemeinen oder örtlich im Rückgang begriffen und daher besonders zu schützen sind, soll durch die Forstbeamten und durch Nachfrage bei der Staatlichen Stelle festgestellt werden. Soweit es sich um wirtschaftlich unschädliche oder bei der Seltenheit ihres Vorkom-

Digitized by Google

mens doch nicht merkbar schädliche Tiere handelt, soll ihr Fang und ihre Tötung verboten werden; auch andere seltene Tiere sollen an Oertlichkeiten, wo sie keinen nennenswerten Schaden anrichten, geschont und nach Möglichkeit in angemessener Zahl erhalten werden. Wie die Vögel selbst, sind auch ihre Nester zu schützen; ebenso ist auf die Erhaltung von Nistgelegenheiten (Unterholz, Hohlbaum) Bedacht zu nehmen. Von den Gebilden der leblosen Natur sind die anstehenden Felsen und erratischen Blöcke, soweit sie durch ihre Zusammensetzung, Größe und Form, oder durch sonstige Eigenschaften bemerkenswert sind, als Naturdenkmäler zu bewahren. Sodann werden die Königlichen Regierungen beauftragt, Erhebungen über die in ihrem Dienstbezirk vorhandenen Naturdenkmäler anzustellen und deren Ergebnis in eine Nachweisung einzutragen, welche in zwei Exemplaren auszufertigen ist. Eine derselben soll der Staatlichen Stelle übermittelt und die andere in ein besonders anzulegendes Aktenstück, welches dauernd auf dem Laufenden zu halten ist, gebracht werden. — Hiernach sind die preußische und andere Forstverwaltungen eifrig bestrebt, die Interessen der Naturdenkmalpflege im Walde zu wahren; insonderheit ist erstere bemüht, auch weitergehenden Ansprüchen von Wissenschaft und Kunst nach Möglichkeit gerecht zu werden. So wurde in der Oberförsterei Münster ein bemerkenswerter Laubholzbestand vornehmlich deshalb geschützt, um dem Professor der Botanik die Flechtenflora auf der Rinde der Bäume zu bewahren; in der Oberförsterei Hombressen bei Sababurg ist ein ansehnlicher Laubwald hauptsächlich deshalb reserviert, um Landschaftsmalern die Motive für ihre Studien zu erhalten.

Bei der Unterrichtsverwaltung kommt es u. a. darauf an, daß die in Schulen gebrauchten Bücher, Karten und Abbildungen daraufhin geprüft werden, ob sie den Anforderungen der Naturdenkmalpflege genügen. Weiter ist dahin zu wirken, daß die Lehrer mit den Ideen der Naturdenkmalpflege in geeigneter Weise vertraut gemacht werden, und daß ihre Teilnahme daran auch dauernd rege bleibt. Daher müssen in den amtlichen Bezirks- und Kreislehrerkonferenzen öfters Vorträge über diesen Gegenstand gehalten werden, wie es in Preußen generell angeordnet ist. Ferner ist es erwünscht, auf die Ferien- und Fortbildungskurse für seminaristisch und akademisch gebildete Lehrer Einfluß zu gewinnen, damit Vorlesungen aus diesem Gebiet in das Programm aufgenommen werden. Weiter ist angeregt worden, daß in den wissenschaftlichen Beilagen zu den Schulprogrammen auch die Naturdenkmalpflege berücksichtigt wird. Die Schüler und Schülerinnen sollen in der Idee erzogen und geleitet werden, daß gleich wie die Kunstdenkmäler, Garten- und Parkanlagen auch die Denkmäler der Natur, wie Wald und Heide, überall zu schonen und zu schützen sind. Insonderheit ist ihnen eindringlich zu untersagen, bemerkenswerte Pflanzen mit Wurzeln oder Knollen in Menge auszureißen oder lange Blütenzweige von Bäumen und Sträuchern abzubrechen. In gleicher Weise muß verhindert werden, daß harmlose Tiere, wie Salamander, Frösche, Ringelnattern, Eidechsen, Fledermäuse usw. aus Unkenntnis und Unverstand verfolgt und getötet werden.

Universitätsprofessoren in Berlin wurden durch einen Ministerialerlaß von 1907 ersucht, in ihren Vorlesungen an passenden Stellen auf den wissenschaftlichen und ästhetischen Wert der Naturdenkmäler hinzuweisen. An mehreren Hochschulen p. p. sind Vorlesungen über Naturdenkmalpflege veranstaltet worden. Ferner ist anzuregen, daß bei naturwissenschaftlichen Exkursionen, Uebungen, Seminararbeiten, Dissertationen und Preisaufgaben nach Möglichkeit auch Themata aus diesem Gebiet Verwendung finden.

Bei der Bauverwaltung müssen sich die Aufsichtsbeamten eine allgemeine Kenntnis der in ihrem Dienstbezirk vorhandenen Naturdenkmäler landschaftlicher und anderer Art verschaffen und deren unveränderte Erhaltung überwachen. Bei Anlage von Landstraßen ist dahin zu streben, daß das Landschaftsbild nicht beeinträchtigt und einzelne Naturdenkmäler nicht zerstört werden. Als beim Neubau des Herrenhauses in Berlin zwei im Garten stehende große Eiben gefährdet waren, wurden erhebliche Mittel aufgewandt, um sie mit dem umgebenden Erdreich in einem eigens angelegten Kanal um 20 bezw. 25 m fortzurücken und am Leben zu erhalten, was auch tatsächlich geglückt ist. Die Wasserbauverwaltung hat dafür zu sorgen, daß hier und da kleine Altwässer mit Relikten aus Tier- und Pflanzenreich erhalten bleiben; ferner, daß Flußabschnitte nicht des Ufergehölzes, sofern es von botanischem Interesse oder als Niststätte für Vögel bemerkenswert ist, beraubt werden. Die Eisenbahnverwaltung ist schon öfters bei der Erweiterung von Bahnhofsanlagen und bei Ausführung neuer Bahnen auf die Erhaltung der Landschaft und einzelner Denkwürdigkeiten bedacht gewesen; in hervorragendem Maße nimmt sie sich auch des Vogelschutzes an. Auf den Böschungen und Trennstücken der Eisenbahn werden bisweilen ausgedehnte Heckenanlagen ausgeführt, um den im Schwinden begriffenen Vögeln neue Nistgelegenheiten zu gewähren.

Digitized by Google

Bei der Verwaltung des Innern ist zu prüfen, ob die bestehenden Polizeiverordnungen den Interessen der Naturdenkmalpflege entsprechen. Ferner ist zu wünschen, daß alle Stellen bei ihren Verfügungen und Entscheidungen in verständnisvoller Weise auf die Erhaltung der Naturdenkmäler Rücksicht nehmen. Vor der Ausführung von Türmen und anderen Anlagen auf Bergeshöhen ist zu prüfen, welche Wirkung sie auf das Landschaftsbild ausüben, und ob es dem allgemeinen Wohl nicht mehr entsprechen würde, diese Stellen in ihrer Ursprünglichkeit zu bewahren. Bei Erteilung von Konzessionen zu Bahnbauten in hervorragend schönen Gegenden ist stets zu erwägen, ob wirklich ein allgemeines Bedürfnis vorliegt, und ob nicht Bedenken dagegen sprechen, daß die Unruhe des städtischen Lebens in Gegenden getragen wird, welche sonst fast unberührt geblieben sind. In Preußen erschien 1907 ein Ministerialerlaß, in welchem die Verwaltungsbehörden auf die Bestrebungen der Naturdenkmalpflege hingewiesen und ersucht wurden, die Erhaltung der Naturdenkmäler nur dann zurückzustellen, wenn wichtigere Rücksichten auf das öffentliche Wohl es erheischen. Es ist eine wichtige Aufgabe der Naturdenkmalpflege, für die einschlägigen Bestrebungen besonders die Landräte (Bezirksamtmänner, Oberamtmänner) zu gewinnen, die vermöge ihrer Stellung und ausgebreiteten Kenntnis des Kreises (Bezirks) erfolgreich mitwirken können. Preußischen Landräten ist es schon mehrfach gelungen, Geldmittel flüssig zu machen, um Arbeiten zur Erforschung und Erhaltung von Naturdenkmälern ihres Kreises zu unterstützen. Der Kreis Uelzen, Provinz Hannover, gewährte mehr als 300 Mark zum Erwerb eines Hochmoors mit Zwergbirke; der Kreis Schlochau, Westpreußen, bewilligte 500 Mark zum Ankauf eines erratischen Blockes; der Kreis Sonderburg bestimmte 600 Mark als Beitrag zur Sicherung eines andern erratischen Blockes.

Die Militärverwaltung in Preußen hat wiederholt, den Wünschen der Naturdenkmalpflege entsprechend, die Standorte seltener Pflanzen nach Möglichkeit gesichert. Im Festungsgelände von Graudenz bleiben zahlreiche Stämme der Elsbeere (Pirus torminalis) nahe der Ostgrenze ihrer Verbreitung erhalten; ebenso ist Prunus fruticosa auf dem Truppenübungsplatz bei Thorn geschützt. Die Preußische Landesaufnahme im Großen Generalstab hat angeordnet, daß bei den alljährlichen neuen Aufnahmen gewisse Naturdenkmäler in die Meßtischblätter aufgenommen werden. Ferner sind die aufnehmenden Offiziere und Topographen des Generalstabes ersucht worden, bei ihren Arbeiten im Gelände auch auf Naturdenkmäler zu achten und Berichte über deren Auffinden zu erstatten.

Die Reichspostverwaltung ordnete an, daß bei Anlage von Telegraphenleitungen ausgezeichnete Bäume und andere Naturdenkmäler unbedingt zu schonen sind. Wenn es unvermeidlich erscheint, Aeste zu entfernen, soll es der Oberpostdirektion vorher angezeigt werden, damit sie die Angelegenheit prüfen kann.

Auch die Reichskolonialverwaltung bringt den Bestrebungen besonderes Interesse entgegen. In Ost-Usambara wird ein Teil des Regenwaldes geschützt, und dieses Gebiet ist der Obhut des Agrikultur-Biologischen Instituts in Amani unterstellt. Andere Reservate finden sich in West-Usambara, in Kamerun, und es ist in Aussicht genommen, künftig auch größere Naturschutzgebiete in unseren Kolonien einzurichten. Aeltere Kolonialvölker, wie namentlich die Engländer besitzen schon lange in ihren Kolonien ausgedehnte Reservate zum Schutz der Tier- und Pflanzenwelt. Die Holländer haben auf Java in einer Höhe von 1787 m ein Urwaldgebiet von nahezu 3 qkm reserviert.

Wie die Zweige der Staatsverwaltung sind auch die Kommunen für die Zwecke der Naturdenkmalpflege zu interessieren. Vielfach haben Städte in ihren Waldungen Naturschutzgebiete eingerichtet; weiter müssen sie dafür gewonnen werden, auch die Singvögel nach Möglichkeit zu bewahren. Die Provinzialverbände stehen diesen Bestrebungen gleichfalls freundlich gegenüber. Die Provinz Hannover gewährte einen Beitrag zum Ankauf des oben erwähnten Zwergbirkenmoors, die Provinz Schleswig-Holstein bewilligte 800 Mark zum Ankauf des großen erratischen Blockes, und die Rheinprovinz bewilligte seinerzeit 200000 Mark zum Schutz des Siebengebirges gegen Steinbruchbetrieb.

Eine weitere wichtige Aufgabe besteht darin, die Vereine der verschiedensten Art für die Sache anzuregen. Es gibt schon besondere Vereine für Naturdenkmalpflege und Naturschutz, welche sich ausschließlich diesem Zwecke widmen. Naturwissenschaftliche und andere Vereine haben die Naturdenkmalpflege mit als eine Vereinsaufgabe in ihre Satzungen aufgenommen. Auch Touristen- und Verkehrsvereine können erfolgreich mitwirken. Weiter müssen die Jagdvereine, welche Geldprämien für das Abschießen von sogenanntem Raubzeug gewähren, noch mehr für die Naturdenkmalpflege gewonnen werden, damit die vielfach von alters her bestehende Prämiierung ohne Maß und Ziel aufhört. Die Landesvereine Brandenburg und Braunschweig haben kürzlich sämtliche Prämien mit Ausnahme der auf wildernde Hunde und Katzen aufgehoben.

Digitized by Google

Endlich sind auch Privatpersonen in der Lage, die Naturdenkmalpflege zu fördern. Großgrundbesitzer haben mehrfach ansehnliche Reservate eingerichtet, worüber unten Näheres berichtet wird. Ferner können Mäzene Naturdenkmäler durch Ankauf sichern, wie es namentlich in Amerika vorkommt. Auch bei uns müßte allmählich die Auffassung Geltung finden, daß nicht nur die Stiftung eines Denkmals von Erz oder Stein, sondern auch die Schenkung eines schönen Stücks Natur an die Gemeinde und die ganze Bevölkerung wohl geeignet ist, sich dankbare Herzen in Gegenwart und Zukunft zu sichern.

Naturschutz umfaßt die Bestrebungen zum Schutz der gesamten Natur in der Heimat. Er erstreckt sich nicht allein auf die Erhaltung der Naturdenkmäler, sondern auf den ganzen Pflanzen- und Tierschutz, einschließlich Vogelschutz, also auch auf die Pflege eingeführter Pflanzen und Tiere. Der Naturschutz hat die Ermittelung und Erforschung der Naturdenkmäler ursprünglich nicht in sein Programm aufgenommen, wiewohl es bisweilen vorkommt, daß er sich auch dieser Aufgabe widmet. Heimatschutz ist der weiteste Begriff, indem er sich auf den Schutz der landschaftlichen Natur mit den überlieferten ländlichen Bauten, früh- und vorgeschichtlichen Denkmälern sowie der einheimischen Tier- und Pflanzenwelt und geologischen Seltenheiten, aber auch auf die Erhaltung von Stadtbildern usw. bezieht. Wiederholt hat der Heimatschutz sein Interesse für Naturdenkmalpflege praktisch betätigt. Unter Naturpflege würde man wohl von vornherein die Pflege der gesamten Natur verstehen, aber in Bayern, wo das Wort geprägt ist, bedeutet es etwa dasselbe wie Naturdenkmalpflege. Die im Sinne der Naturpflege zu schützenden Gegenstände sind dort „diejenigen Naturgebilde, deren Erhaltung einem hervorragenden idealen Interesse der Allgemeinheit entspricht“.

Die unter verschiedenen Namen nebeneinander laufenden Bestrebungen berühren sich vielfach und gehen teilweise auch ineinander über. Im Grunde genommen verfolgen sie alle das gemeinsame Ziel, die Seltenheiten der heimatlichen Natur zu schützen.

3. Naturschutzgebiet. Naturschutzgebiet ist ein Gelände, in welchem die gesamte Natur geschützt wird. In den Vereinigten Staaten, Schweden usw. wurden solche Schutzgebiete auf Grund besonderer Gesetze eingerichtet, und hierdurch ist eine dauernde Sicherung verbürgt. Auch der Schutz eines Geländes durch Ankauf und Überweisung an eine öffentliche Verwaltung erscheint nicht weniger vollkommen. Viele Schutzgebiete sind durch Behörden auf administrativem Wege zustande gekommen, und wenn es in den Bestimmungen auch meistens heißt „bis auf weiteres“, braucht im allgemeinen nicht befürchtet zu werden, daß diese eines Tages aufgehoben werden könnten. Bei Privatbesitz ist der Schutz bisweilen durch eine Eintragung in das Grundbuch bewirkt, in anderen Fällen beruht er jedoch nur in einer schriftlichen oder gar mündlichen Äußerung des Besitzers, was nicht ausreichend ist. Nach Möglichkeit muß überall eine gesetzliche Regelung der Einrichtung von Naturschutzgebieten angestrebt werden.

Was den Namen betrifft, so finden sich aus früherer Zeit Bezeichnungen wie Naturoase, Naturasyl und andere mehr. Die Preußische Forstverwaltung spricht gewöhnlich von Reservaten und dieser Name (Reservat, Reservation) kehrt auch vielfach in anderen Ländern wieder. In Amerika bezeichnet man die durch Gesetze eingerichteten Schutzgebiete als National Parks. Dieses Wort hat in Südamerika, Australien, Schweden, in der Schweiz usw. Eingang gefunden und könnte als terminus technicus auch für das durch den Stuttgarter Verein „Naturschutzpark“ in der Lüneburger Heide zustande gekommene Schutzgebiet (s. unten) gebraucht werden, zumal Staat und Nation die Mittel gewährt haben. Dagegen empfiehlt sich nicht das neugebildete Wort „Naturschutzpark“, da man in Deutschland unter Park eine künstliche Anlage versteht. In naturwissenschaftlichen Kreisen spricht man besser von Naturschutzgebieten, Naturschutzbezirken oder Reservaten.

Pflanzenschutzgebiet ist eine Fläche, auf welcher nur die Pflanzenwelt geschützt ist. In Bayern besteht ein Gesetz, nach welchem solche Pflanzenschonbezirke von ansehnlicher Größe eingerichtet werden können. Vogelschutzgebiet, Vogelfreistätte, Vogelasyl ist ein Gelände, in welchem die Vogelwelt gesichert bleibt; besonders sinnig ist die englische Bezeichnung: Sanctuaries of Birds. Es ist selbstverständlich, daß in diesen Pflanzen- und Vogelschutzbezirken mittelbar auch die übrige Natur geschont wird.

4. Geschützte Landschaften. In der Mark Brandenburg ist eine 167 ha große Landschaft bei Chorin, welche aus einem mit Nadelholz und Laubholz bestandenen Moränengelände, aus Moor und See besteht, durch die Staatsforstverwaltung seit 1907 geschützt. Jede Nutzung unterbleibt, ebenso ruhen Jagd und Fischerei. Über die Bodenverhältnisse, Pflanzen- und Tierwelt ist eine umfangreiche Veröffentlichung erschienen (Beiträge zur Naturdenkmalpflege, III. Band, Berlin 1912). In der Lüneburger Heide wird ein ausgedehntes Gebiet von Heide, Nadelwald, Moor, Wiese usw. durch den genannten Stuttgarter Verein erworben. Da

Digitized by Google

dieses 3 bis 4 Quadratmeilen groß geplante Schutzgebiet auch Kulturland und Bauernhöfe umschließt, handelt es sich mehr um ein Reservat im Sinne des Heimatschutzes. Der Verein will außer diesem noch andere Schutzgebiete einrichten; es ist ihm gelungen, weite Kreise der Bevölkerung für seine Idee zu interessieren und erhebliche Geldmittel auch durch Geldlotterien zu erlangen. Schon früher, in der Mitte der achtziger Jahre, hatte der Siebengebirgsverein es verstanden, die staatlichen und kommunalen Stellen sowie die ganze Bevölkerung der Rheinprovinz für den Schutz des Siebengebirges gegen Ueberhandnahme der Steinbruchindustrie zu gewinnen. Die Staatsregierung bewilligte ihm das Enteignungsrecht und eine Reihe von Geldlotterien, Provinz und Städte gewährten bedeutende Beiträge. Durch Ankauf der Steinbrüche und anderen Grund und Bodens konnte der weiteren Verunstaltung des Siebengebirges vorgebeugt werden, und wenn auch die ursprüngliche Natur nicht wieder herzustellen ist, wurde doch eins der schönsten Landschaftsbilder des Rheins im allgemeinen erhalten.

Bei Sababurg im Reinhardswald ist ein 70 ha großer Waldteil durch die Staatsforstverwaltung reserviert. Das Gelände steigt von 280 zu 330 m an; in seinem höheren Teil ist es moorig und wird von zwei flachen Schlenken, die teilweise Wasser führen, durchzogen. Der östliche Teil ist mit dichtem Birkenwald bestanden, in den vereinzelt Rot- und Weißbuchen und Eichen eingesprengt sind. Daran schließen sich offenere Flächen, auf denen die Eichen besonders starke Stämme zeigen. Sie messen 6 bis 9 m Umfang und haben bei ihrer isolierten Lage, Wind und Wetter ausgesetzt, sehr malerische Formen angenommen. Besonders an den feuchteren Stellen treten häufig Erlen mit Faulbaum, Weißdorn und Brombeer-Unterwuchs auf. Der westliche Teil zeigt durch seinen Reihenwuchs, daß er aus früherer Kultur hervorgegangen ist. Einen besonderen Schmuck bilden zur Blütezeit die beigemischten wilden Apfelbäume, sowie die zahlreichen Ebereschen. Charakteristisch ist der Adlerfarn, der ganze Flächen mit dichten Beständen von Mannshöhe überzieht. Auf den Mooren ist Juncus acutiflorus außerordentlich üppig, und die kleinen Tümpel sind dicht mit Potamogeton natans bedeckt. Vornehmlich auf Anregung von Landschaftsmalern wurde dieses Naturschutzgebiet eingerichtet.

Im Oldenburgischen, im Hasbruch und Neuenburger Urwald, sind im ganzen ca. 80 ha reserviert. Es handelt sich um Bestände von Eiche, Rotbuche und Weißbuche, zwischen denen Hülse, Weißdorn, Schwarzdorn, Haselnuß und andere das Unterholz bilden. Früher besaß das ganze Revier Neuenburg einen mehr oder weniger urwaldähnlichen Charakter, während dieser jetzt auf den geschützten Teil beschränkt bleibt. Die vom Blitzschlag oder Windbruch gespaltenen oder entwipfelten, selbst die völlig abgestorbenen Stämme bleiben im Boden stehen, auch werden die liegenden, modernden Stämme nicht weggeräumt.

Eine Isarlandschaft ist durch Zusammenwirken von Isartalverein und München durch Ankauf gesichert. Unter Führung G. von Seidls wurden von Künstlern, Brauereibesitzern und anderen 30000 M. zusammengebracht, und die Stadt München gewährte eine Beihilfe von 20000 M. Auf diese Weise konnte eins der schönsten Landschaftsbilder oberhalb Münchens vor Abholzung und Bebauung gerettet werden.

Am Kubany im Böhmerwald richtete Fürst Schwarzenberg um das Jahr 1860 ein Reservat von 115 ha ein, um der Nachwelt das Bild eines mitteleuropäischen Urwaldes zu bewahren. Leider wurde ein großer Teil davon durch einen Orkan im Jahre 1870 vernichtet, aber auch heute besteht noch ein etwa 47 ha großer Waldteil, in dem Axt und Säge nicht gerührt werden und auch kein Schuß fällt. — Neuerdings ist im Böhmerwald unweit Eisenstein durch den Fürsten von Hohenzollern ein erheblich größeres Naturschutzgebiet zustande gekommen. Das Gelände liegt an der bayerisch-böhmischen Grenze und umfaßt die Wasserscheide zwischen Elbe und Donau; der Schwarze See gehört zum Stromgebiet der Elbe, der Teufelssee zu dem der Donau. Abhänge finden sich nach fast allen Seiten, besonders nach Südwest, Südost und Nordost. Die Waldteile, welche zwischen 1010 und 1343 m liegen, bestehen hauptsächlich aus Fichte, etwas Weißtanne, Buche, Bergahorn, Eberesche, Weide und Birke; auf dem Kamm gesellt sich auch die Krummholzkiefer dazu. Die Gipfel der Fichten sind fast durchweg gebrochen und die Stämme häufig durch Schneedruck und andere Einflüsse deformiert. Stelzenbäume und ähnliche Erscheinungen finden sich nicht selten. Das ganze Naturschutzgebiet umfaßt etwa 175 ha und ist von besonderer landschaftlicher Schönheit.

Im Mährischen Gesenke, in Fürstlich Liechtensteinschem Besitz, findet sich ein Reservat von Wald und Hochmoor, im ganzen 143 ha. Der Waldbestand setzt sich aus Fichte, Buche, Bergahorn, Eberesche usw. zusammen; daneben finden sich Pinus montana, Juniperus nana, Salix herbacea und andere Seltenheiten.

Im Unterengadin ist ein ausgedehntes Gelände durch Pachtung auf 99 Jahre als Nationalpark gesichert. Es umfaßt hauptsächlich das Val Cluoza, ein wildes Hochge-

Digitized by Google

birgstal, dessen Sohle von 1500 bis 2880 m aufsteigt, während die umrahmenden Berge sich schroff zu 3300 m Höhe erheben. Infolge seiner Abgelegenheit ist es sowohl von forst- und landwirtschaftlicher Nutzung als auch vom Fremdenverkehr so gut wie verschont geblieben. Pflanzengeographisch ist es interessant, da es im Uebergangsgebiet der Ost- und Westalpenflora liegt; aus der Tierwelt ist das Vorkommen des Bären bemerkenswert. Im übrigen soll die Pflanzen- und Tierwelt erst noch erforscht werden.

In Schweden sind mehrere, auch recht ausgedehnte Landschaften gesetzlich geschützt. Nördlich vom 68. Grad, an der Südseite des Torneträsk, liegt der 5 Quadratmeilen große Abisko Nationalpark, ein ausgezeichnetes Hochtal von nordischer Natur. Es umschließt den kleinen Abisko See und Elf, welcher durch einen 2 km langen Kannon fließt. Von botanischem Interesse ist das Auftreten der in Schweden und Norwegen sehr seltenen Platanthera obtusata und Wahlbergella affinis. Etwas südlicher befindet sich der Stora Sjöfallet Nationalpark von 15 Quadratmeilen Größe. Er enthält die Quellseen der oberen Lula Elf mit den umgebenden Schneegebirgen und niedrigeren waldbedeckten Gebirgen nebst Mooren und kleineren Seen. Das Hauptinteresse nehmen Stora Sjöfallet, der große Wasserfall, und das Auftreten des Bären in diesem Gebiet in Anspruch. Südwestlich schließt sich der Sarjek Nationalpark von 19 Quadratmeilen an, welcher mehr als 2000 m hohe Schneegebirge mit Gletschern und Hochgebirgsseen umfaßt. Die anderen Nationalparke liegen weiter südlich.

Die Vereinigten Staaten Amerikas besitzen eine Anzahl Reservate, deren größtes und bekanntestes der schon 1872 durch Beschluß des Kongresses eingerichtete Yellowstone Nationalpark in Wyoming ist. Das 8671 qkm große Gelände umfaßt eine von Tälern vielfach durchfurchte Hochebene mit zahlreichen Wasserfällen, pittoresken Felsbildungen und bemerkenswerten Waldungen. In 2000 m Höhe liegt der durch seine Fisch- und Vogelfauna ausgezeichnete Yellowstone See mit dem Fluß gleichen Namens, der sich den Weg durch hohe Felsen bahnt und dabei mehrere großartige Wasserfälle bildet. Weiter bestehen dort viele heiße Quellen und Schlammvulkane. Sodann hat sich die ursprüngliche Tierwelt teilweise erhalten, vor allem Bison americanus, dem früher in barbarischer Weise nachgestellt wurde.

Ebenso hat man in anderen Ländern der neuen und alten Welt, wo die Verhältnisse es zuließen, Landschaften mit bemerkenswerter Natur reserviert, und wo es noch nicht geschehen, ist man eifrig bemüht, es nachzuholen. Auch in Südamerika und Australien sind zahlreiche Naturschutzgebiete, teilweise von erheblicher Ausdehnung geschaffen. Der Nationalpark bei Sidney umfaßt 150 und ein anderer in Queensland 350 qkm.

5. Geschützte Bodengestaltungen. Bemerkenswerte Granitklippen im Besitz von Wernigerode am Harz werden auf Beschluß der städtischen Körperschaften dauernd geschützt. Die im Gneisgebiet des Erzgebirges auftretenden Quarzitklippen mit dem sogenannten „Buttertöpfchen" wurden von der Stadt Frauenstadt i. Sa. durch Ankauf gesichert. Ausgezeichnete Basaltbildungen können aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchweg erhalten bleiben, jedoch ist es gelungen, sie in einzelnen Fällen zu schützen. Die in der KOF[1]) Siegen, Bez. Arnsberg, befindliche kegelförmige Basalterhebung, der sogenannte „Große Stein" wird von der Forstverwaltung erhalten. Ebenso bleibt in der KOF Witzenhausen der den Buntsandstein durchbrechende Basalt, welcher säulenförmig ausgebildet ist, von Steinbruchanlagen unberührt. Ferner werden im Kaufunger Wald die unter dem Namen „Bilsteinkirche" bekannten Basaltklippen von dem Ritterschaftlichen Stift Kaufungen gegen Steinbrüche geschützt. In dem Solms-Braunfelsschen Forstort Koppe, Bezirk Coblenz, bleibt der 20 m hohe Basaltfelsen mit schön ausgestalteten Säulen, welcher früher als Steinbruch verpachtet war, auf Anordnung des Fürsten fortan unberührt. Die im unteren Ahrtal gelegene Landskron, eine mächtig aufstrebende Felsgruppe von Basaltlaven und Säulenbasalt, wurde früher durch Steinbrüche erheblich beeinträchtigt. Schon 1889 bildete sich ein Verein zur Rettung der Landskron, auf dessen Veranlassung die Provinz den Betrieb auf ihrem Besitztum einstellte und es unentgeltlich dem Verein überließ. Im Jahre 1891 erwarb der Kreis Ahrweiler den ganzen Grundbesitz des Vereins für 1500 M., worauf sich der Verein, der seine Aufgabe erfüllt hatte, auflösen konnte. Später kaufte der Kreis weitere Parzellen zum Preise von 2325 M. und auf diese Weise schützte er die ausgezeichnete Felsbildung in einer Ausdehnung von 7,47 ha, wodurch einer weiteren Verunstaltung der Landskron vorgebeugt wurde. In Böhmen, am linken Ufer der Elbe unweit Aussig, erhebt sich ein gegen 100 m hoher Basaltfelsen, welcher in scheitelförmig angeordnete, 6seitige Säulen gegliedert ist. Nachdem die Stadtverwaltung, welche früher im oberen Teil einen Steinbruch betrieb, darauf aufmerksam geworden war, daß es sich um ein Naturdenkmal handelt, beschloß sie, den weiteren Abbau einzustellen, um es für alle Zeit tunlichst unverändert zu bewahren. Bei Steinschönau ist ein anderer Basaltfelsen,

[1]) KOF = Königliche Oberförsterei.

Digitized by Google

der sogenannte „Herrnhausstein“, welcher sich aus schlanken geraden Basaltsäulen bis zu 20 m Länge zusammensetzt, teilweise geschützt. Durch Zusammenwirken verschiedener Körperschaften und durch eine neugebildete Vereinigung zur Rettung des Herrnhausfelsens wurden die Mittel aufgebracht, um wenigstens einen Teil desselben durch Pachtung zu sichern.

Der in der KOF Coppenbrügge verlaufende Höhenzug Ith, welcher dem Malm zugehört, bleibt durch Steinbruchanlagen unbeeinträchtigt erhalten. Ebenso sind die Quadersandsteinfelsen in der KOF Nesselgrund in der Grafschaft Glatz geschützt. Der Tyrstein am Harz, eine weithin sichtbare Steilwand von Kreidesandstein, welche der Stadt Derenburg gehört, bleibt nach einem von Magistrat und Stadtverordneten gefaßten Beschluß als Naturdenkmal erhalten. Die Teufelsmauer bei Quedlinburg bildet ein Beispiel frühzeitiger Naturdenkmalpflege durch Verwaltungsbehörden. Das Landratsamt Quedlinburg erließ schon 1850 eine Polizeiverordnung, durch welche das Brechen und Absprengen von Steinen dort untersagt wurde. Bei der Separation wurde auf Veranlassung des Oberpräsidenten der imposante und großartige Teil der Mauer von der Verteilung ausgeschlossen. Darauf erließ das Landratsamt 1860 eine Bekanntmachung, daß namentlich die Königsteine, die Mittelsteine und die Papensteine nicht in Privatbesitz übergegangen seien, weshalb auch niemand berechtigt sei, darüber zu verfügen. Deshalb werde das Brechen von Steinen bis auf eine Entfernung von 8 Fuß ausdrücklich untersagt.

Der Doberg bei Bünde in Westfalen, an welchem alle drei Abteilungen des Oligozäns in charakteristischer Ausbildung mit reichen Funden an Fossilien auftreten, wurde durch Zusammenwirken der Provinz und des Ravensberger Heimatschutzvereins durch Ankauf gesichert. Es handelt sich dabei um ein ausgezeichnetes Vorkommen des gesamten Oligozäns, wie es an keiner anderen Stelle im ganzen nördlichen Deutschland wiederzufinden ist.

Häufiger sind Maßnahmen zum Schutz geologischer Erscheinungen der Eiszeit. Der Kreis Karthaus erwarb ein charakteristisches Moränengelände, um es als Naturdenkmal zu erhalten, und die Stadt Nörenberg, Bezirk Stettin, beschloß, das Eichfier, eine typisch entwickelte Endmoräne, im ursprünglichen Zustand zu bewahren. Im Kreise Grimmen, Bezirk Stralsund, wurde bei Aufteilung des Rittergutes Rekentin durch die Generalkommission der höchst gelegene Teil eines ausgezeichneten Moränengeländes der Gemeinde zur dauernden Erhaltung überwiesen. Die Preußische Staatsforstverwaltung hat angeordnet, daß die durch ihre Form, Größe, Zusammensetzung oder durch sonstige Eigenschaften bemerkenswerten Findlinge gegen Zerstörung geschützt werden; in Sonderheit sind z. B. Vorkehrungen getroffen, um die in Schlesien am Sattelwald bei etwa 560 m Meereshöhe vorkommenden Blöcke zu erhalten. In mehreren Fällen gewährten Provinzial- und Kreisverbände erhebliche Mittel zur Sicherung erratischer Blöcke durch Ankauf; beispielsweise wurden für den größten erratischen Block Schleswig-Holsteins, den sogenannten „Düppelstein“ im ganzen 1710 M. ausgegeben. Städtische Behörden (Elbing, Neustadt i. Wpr. usw.) führten Beschlüsse herbei, um die auf ihrem Gelände vorhandenen Blöcke dauernd zu schützen. Auch die Katholische Kirche hat einem in der Ferse bei Pelplin liegenden Block ihren Schutz angedeihen lassen. In Dänemark und England bleiben gleichfalls einzelne bemerkenswerte Findlinge erhalten. In der Schweiz haben sich die naturforschenden Gesellschaften schon frühzeitig des Schutzes erratischer Blöcke angenommen. Der größte erratische Block der Schweiz, Bloc des Marmettes, auf dem sich eine kleine Kapelle befindet, wurde durch Ankauf für 30000 Frs. gesichert. Auch eine andere Glazialerscheinung in der Schweiz ist auf besondere Weise geschützt worden. Als man 1875 bei Anlage eines Weinkellers in Luzern auf einige Gletschertöpfe im anstehenden Felsen stieß, machte auf Anregung des Geologen A. Heim in Zürich der Besitzer aus diesem Gelände, in welchem allmählich 32 Gletschertöpfe aufgedeckt wurden, eine Sehenswürdigkeit, wodurch dessen Erhaltung gewährleistet ist. Durch die Bemühungen des Alpenvereins, Sektion München, wurden die Gletscherschliffe auf der diluvialen Nagelfluh bei Berg am Starnberger See geschützt. Ebenso bemühte sich die Sektion Klagenfurt um die Sicherung der Gletscherschliffe am Kreuzberg und Thomasberg.

Die aus säulenförmigen Diluvialsandsteinbildungen bestehende Mechauer Höhle in Westpreußen wurde vom Kreise Putzig durch Ankauf gesichert.

Die größte Düne Dänemarks, Raabjerg Mile bei Skagen, deren wechselnde Oberfläche von keinem Pflanzenwuchs zusammengehalten wird, ist in einer Ausdehnung von 214 ha vom Staat um etwa 2000 Mark angekauft und der Dünenverwaltung mit dem ausdrücklichen Vorbehalt zugeteilt worden, daß nie eine Bepflanzung ausgeführt werden dürfe. Somit wird diese imponierende Landschaft ihre Ursprünglichkeit bewahren und in ihrem Aussehen nur von der Natur selbst verändert werden.

Hier und da konnten auch sogenannte fossile Wälder gesichert werden. Als unweit Glasgow bei Herstellung eines Weges ein Waldboden der Steinkohlenzeit mit auf-

Digitized by Google

rechtstehenden Stammstücken von Sigillarien, Lepidodendren usw. angetroffen wurde, beschloß man, die interessante Stelle als Rest eines Steinkohlenwaldes dauernd zu erhalten und ein Dach darüber zu errichten. Ferner wurde in den Vereinigten Staaten der Versteinerte Wald von Arizona, d. h. ein ausgedehntes Lager verkieselter Stämme von araukarienähnlichen Bäumen durch Gesetz zum Nationalpark erklärt. Einige dieser Stämme erreichen mehr als 2 m Durchmesser und 60 m Länge.

Wie die Gestaltungen des festen Bodens, sind in einzelnen Fällen auch Stromschnellen und Wasserfälle geschützt worden. Die Krimmler Wasserfälle wurden durch die Sektion Warnsdorf des Deutsch-Oesterreichischen Alpenvereins gerettet, und die Sektion Villach wirkte dahin, daß die Schliza-Schlucht mit ihrem natürlichen Wasserreichtum tunlichst erhalten blieb. Sjaeggedalsfos im Hardanger ist durch das Eintreten des Norwegischen Touristenvereins vor industrieller Ausnutzung bewahrt geblieben. Die Besitzer haben sich durch eine Eintragung in das Grundbuch verpflichtet, keine Industrieanlage zuzulassen, wogegen der Verein erhebliche Geldmittel zur Ausführung von Wegen dorthin gewährte. In Arkansas, Vereinigte Staaten von Amerika, wurden die heißen Quellen schon im Jahre 1832 durch Einrichtung eines Reservates geschützt.

6. Geschützte Pflanzengemeinschaften. Hauptsächlich sind es pontische Pflanzenbestände, welche Schutz erfahren haben. Auf der Königlichen Domäne Pass, Bezirk Stettin, werden zwei kleinere Flächen von der landwirtschaftlichen Nutzung ausgeschlossen. Zu den bezeichnenden Arten gehören Stupa capillata, Anthericus liliago, Allium scorodoprasum, Anemone silvestris, Adonis vernalis, Astragalus Danicus usw. Im Nahetal unweit Waldböckelheim wurde ein Bergabhang mit Überresten einer bemerkenswerten Pflanzenassoziation durch die Bemühungen des Oberlehrers Geisenheyner in Kreuznach erworben und dem Kreise als unveräußerliches Eigentum mit der Verpflichtung der Erhaltung übergeben. Dort finden sich Asplenum ceterach, A. trichomanes, A. septentrionale, A. ruta muraria, Stupa pennata und St. capillata, Pulsatilla pulsatilla, Rosa pimpinellifolia, Eryngium campestre, Stachys rectus, Teucrium chamaedrys, Artemisia campestris usw. Ein mitten im Kulturland liegender Gipshügel bei Windsheim in Bayern, dessen eigenartige Pflanzendecke stark gefährdet war, wurde durch den Botanischen Verein in Nürnberg käuflich erworben. Aus der reichen Flora seien folgende Arten erwähnt: Stupa pennata und St. capillata, Carex montana, C. humilis, Anthericus ramosus, Allium fallax; Silene otites, Arenaria serpyllifolia, Thalictrum minus, Pulsatilla pulsatilla, Adonis aestivalis und A. vernalis, Alyssum montanum und A. calycinum, Reseda lutea; Filipendula filipendula, Astragalus cicer, A. Danicus, Euphorbia Gerardiana, Helianthemum helianthemum, Falcaria falcaria, Bupleurum falcatum, Salvia pratensis, Asperula cynanchica, Aster linosyris, Artemisia campestris und Scorzonera purpurea.

Der letzte Rest der Sempter Heide bei Moosburg wurde schon 1877 vom Botanischen Verein in Landshut angekauft. Als bemerkenswerte Pflanzen finden sich dort: Orchis ustulatus, Daphne cneorum, Globularia vulgaris, G. cordifolia, Gentiana vulgaris, Reseda lutea, Cytisus Ratisbonensis usw.

Die Garchinger Heide nördlich von München wurde mit erheblichen Mitteln, welche die Bayerische Botanische Gesellschaft aufbrachte, gesichert. Es ist eine Heidefläche xerophytischen Charakters mit vorherrschend ost- und südosteuropäischen Florenelementen. Aus dem bisher gesicherten Gebiet seien nach Vollmann folgende genannt: Pulsatilla patens (südwestlichster Punkt ihrer Verbreitung), Pulsatilla vulgaris, Adonis vernalis, Polygala comosum, Biscutella laevigata, Linum perenne, Cytisus Ratisbonensis, Trifolium montanum und alpestre, Dorycnium Germanicum, Coronilla vaginalis, Potentilla arenaria, Peucedanum oreoselinum, Seseli annuum, Asperula tinctoria, Scabiosa suaveolens, Aster amellus, Buphthalmum salicifolium, Inula hirta, Centaurea jacea f. amara, Leontodon incanus, Scorzonera purpurea, Erica carnea, Veronica spicata und Austriaca, Stachys rectus, Brunella grandiflora, Teucrium montanum, Globularia vulgaris, Daphne cneorum, Carex ericetorum und humilis. Dazu gesellen sich einige alpine Arten, wie Globularia cordifolia, Calamintha alpina, Euphrasia Salisburgensis, Alectorolophus angustifolius, Crepis alpestris, Selaginella Helvetica usw.

Eine ansehnliche Callunaheide ist, wie oben erwähnt, durch das vom Verein Naturschutzpark eingerichtete Reservat im Lüneburgischen mit geschützt. Die Heide steht dort in freudiger Entwickelung und ist auch durch das Vorkommen von Wacholder in Zypressenform ausgezeichnet. In Dänemark, im westlichen Jütland wurde die Borrisheide in einer Ausdehnung von 1875 ha vom Staat angekauft. Die Hauptmasse des Ge-

Digitized by Google

ländes ist trockene Callunaheide, aber es gibt auch feuchtere Stellen mit Erica und mit Callunamooren. Die Benutzung des Grund und Bodens steht nur der Universität Kopenhagen und dem Kriegsministerium zu; einige Wochen in jedem Herbst muß es für Uebungen im Gefechtsschießen freigegeben werden, während sonst jede andere Benutzung unterbleibt. Der Boden darf an keiner Stelle bepflanzt oder urbar gemacht werden, das Heidekraut darf weder abgeschnitten noch abgebrannt werden, auch das Beerensammeln und Jagen ist verboten.

Hochmoore sind fast überall in raschem Schwinden begriffen, und es gibt nur sehr wenige, die nahezu unberührt geblieben sind. Das im Bezirk Königsberg i. Pr., Oberförsterei Gauleden, gelegene Zehlaubruch ist eins der sehr wenigen Hochmoore des Staatsgebietes, die sich zum bei weitem größten Teil noch in fast ursprünglichem Zustand befinden. Namentlich in der Mitte und auch im nordöstlichen Teil ist es völlig unberührt, und daher kann es mit Dank begrüßt werden, daß eine Fläche von 2360 ha geschützt wurde. Von Torfmoosen kommen vor: Sphagnum acutifolium, S. cuspidatum, S. medium, S. laxifolium, S. molluscum, S. rubellum, S. tenellum usw. Von anderen Pflanzen sind mehr oder weniger verbreitet: Polytrichum commune, P. juniperinum, P. strictum; Pinus silvestris turfosa; Eriophorum vaginatum, Scirpus caespitosus, Scheuchzeria palustris, Empetrum nigrum, Rubus chamaemorus, Andromeda polifolia, Drosera Anglica, D. obovata, D. rotundifolia usw. In der Randzone finden sich: Calluna vulgaris, Ledum palustre, Vaccinium myrtillus, V. oxycoccus, V. uliginosum, V. vitis idaea. Im Zwischenmoor nach dem angrenzenden Waldbestand hin: Aspidium spinulosum b. dilatatum, Pteridium aquilinum, Lycopodium selago, Carex canescens, C. echinata, C. pseudocyperus, C. rostrata, Allium ursinum, Galium palustre und andere mehr.

Ein erheblich kleineres, aber durch das Vorkommen der Zwergbirke ausgezeichnetes Hochmoor ist in Neulinum, Kreis Kulm in Westpreußen, geschützt. Die Hauptmasse der Torfmoose besteht aus Sphagnum medium und S. recurvum v. mucronatum. Bemerkenswert ist das Auftreten von Betula nana im Verein mit anderen Birkenarten. Auch das zweite im norddeutschen Flachland gelegene Zwergbirkenmoor im Kreise Uelzen, Provinz Hannover, wurde durch Ankauf gesichert. Aus der Pflanzengemeinschaft seien folgende Arten genannt: Aspidium thelypteris, Equisetum heleocharis var. limosum, Agrostis canina, Briza media, Festuca elatior, F. ovina var. capillata, Carex rostrata, Luzula campestris, Salix pentandra, S. repens f. rosmarinifolia, S. repens f. argentea, Betula verrucosa, B. pubescens, B. alpestris, B. nana, Caltha palustris, Drosera rotundifolia, D. Anglica, Parnassia palustris, Comarum palustre, Potentilla silvestris, Empetrum nigrum, Hypericum acutum, Epilobium palustre, Hydrocotyle vulgaris, Vaccinium oxycoccus, Calluna vulgaris, Erica tetralix, Menyanthes trifoliata, Galium uliginosum, Cirsium palustre, Crepis paludosa etc.

Der Federsee in Württemberg wurde in einer Ausdehnung von 18 ha durch den Bund für Vogelschutz angekauft. Dort finden sich Betula humilis, Sumpfkiefer, Cladium mariscus, zahlreiche Orchideen, Primula farinosa, Pinguicula vulgaris, Parnassia palustris, Pedicularis sceptrum Carolinum und andere mehr. Ferner brüten am Federsee fast alle in Süddeutschland vorkommenden Wasservögel.

Das bayerische Pflanzenschutzgebiet bei Berchtesgaden, welches auf Anregung des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen zustande kam, liegt in einer Höhe von 1800 bis 2000 m und hat einen Umfang von 82 qkm. In diesem Bezirk ist das Pflücken, Abreißen, Ausgraben, Ausreißen, Sammeln und Fortbringen wildwachsender Pflanzen aller Art verboten. Ausgenommen ist nur das Sammeln zu wissenschaftlichen Zwecken auf Grund eines besonderen Erlaubnisscheines. Es darf dort auch kein Vieh geweidet und kein Gras gemäht werden.

7. **Geschützte Tiere.** In der Schweiz wurden schon im Mittelalter Tierschutzbezirke (Bannbezirke, Freiberge) für eine bestimmte Reihe von Jahren eingerichtet; dabei konnte die Dauer jedes Reservats beliebig verlängert werden. Auf diese Weise besteht z. B. der Bannbezirk Kaipfstock im Kanton Glarus vom Jahre 1569 ununterbrochen bis heute. Zwar sind wiederholt Anträge um Aufhebung für jenes Gebiet gestellt worden, jedoch wurden sie von der Landesgemeinde stets abgelehnt. Der Kaipfstock beherbergt jetzt mehr als 1200 Gemsen, auch anderes Haarwild und Federwild sind reichlich vorhanden.

In Deutschland sind an zahlreichen Stellen der Küste und des Binnenlandes die Vögel geschützt; teils ist nur das Eiersammeln untersagt, teils werden die Vögel mit geschützt, wie auf dem Memmert, Jordsand, Trieschen usw. Die Insel Norderoog wurde

Digitized by Google

ganz zu Vogelschutzzwecken vom Verein Jordsand in Hamburg angekauft. Fast überall sind Wärter mit der Bewachung beauftragt und erhalten meist staatlicherseits eine besondere Entschädigung.

Im Ostseegebiet ist auf Hiddensö bei Rügen ein Vogelschutzgebiet eingerichtet; auch die Werderinseln bei Zingst sind geschützt. Von besonderem Interesse ist ein großes Reservat in Holland. Durch die Vereinigung zum Schutz der Naturdenkmäler in Amsterdam wurde dort das Naardermeer mit Umgebung in einer Ausdehnung von nahezu 7 qkm für 160 000 Mark erworben, um die Brutplätze von Löffelreiher, Purpurreiher und zahlreichen anderen bemerkenswerten Vogelarten zu erhalten. An den Küsten von England, Irland und den Vereinigten Staaten in Amerika sind schon früher zahlreiche, teilweise sehr ausgedehnte Vogelreservate geschaffen worden; teils sind es Gebiete, in denen das Eiersuchen verboten ist, teils solche, in denen die Vögel selbst geschützt werden.

Im Binnenlande hat namentlich die Staatsforstverwaltung mehrfach Vorkehrungen zum Schutz der Vogelwelt getroffen. Im Bezirk Oppeln genießt eine Lachmöwenkolonie besonderen Schutz und im Bezirk Allenstein wurde vom Forstfiskus eine Insel angekauft, welche einer großen Zahl von Wasser- und Sumpfvögeln als Brutstätte dient. Es ist dafür gesorgt, daß sie während des Brutgeschäftes gänzlich unbehelligt bleiben, zumal das Betreten der Insel nur Forstbeamten gestattet ist. Infolge dieser Ungestörtheit hat sich die Zahl der Vögel schon während eines Jahres erheblich vermehrt. Weiter hat die Forstverwaltung generell Fang und Tötung folgender Tierarten in den Staatsforsten untersagt: Feuersalamander, Haselnatter, Wasseramsel, Pirol, Kolkrabe, Spechte, Mandelkrähe, Eulen (Uhu), Schwarzstorch, Kranich, Kormoran, Igel, Haselmaus usw. Auch Eisvogel, Adlerarten, Wanderfalk und Fischreiher sollen an Oertlichkeiten, wo sie keinen nennenswerten Schaden anrichten, geschützt werden.

Ferner ist bemerkenswert, daß auch auf sonstigem staatlichen sowie auf kommunalem Gelände folgende Vögel geschont werden: Pirol, Kolkrabe, Schwarzspecht, Eisvogel, Blauracke, Wiedehopf, Waldkauz, Waldohreule, Uhu, Wanderfalk, Baumfalk, Wespenbussard, Schreiadler, Hohltaube, Fischreiher, Rohrdommel, Schwarzstorch, Kranich, Höckerschwan, Kormoran und andere mehr.

Ebenso lassen Privatwaldbesitzer seltenen Vogelarten Schutz angedeihen. Der Fürst von Hohenzollern ordnete für seinen ausgedehnten Besitz die Schonung folgender Arten an: Star, Tannenhäher, Spechte, Blauracke, Eulen, Uhu, Turmfalk, Weihe, Milan, Bussard, Adler, Wachtel, Fischreiher, Schwarzstorch, wilder Schwan.

Genaue Angaben über die Oertlichkeiten, wo seltene Vögel geschützt werden, sind hier unterblieben, denn die Erfahrung hat leider gezeigt, daß durch solche Veröffentlichungen ihr Vorkommen gefährdet wird. Weitere Ausführungen über Vogelschutz, besonders die Bestrebungen zum Schutz der Vögel durch Schaffung künstlicher Anlagen von Hecken und Nisthöhlen finden sich in dem Artikel „Vögel".

Durch Landes- und Reichsgesetze sind manche Vögel und Säugetiere relativ geschützt. Der Biber, welcher bis 1904 keine Schonzeit hatte, besitzt jetzt eine solche mit Ausnahme der Monate Oktober und November. Der Bezirksausschuß kann jedoch diese Schonzeit verlängern und auf das ganze Jahr ausdehnen, so daß das Tier dann absolut geschützt ist. In Norwegen genießt der Biber schon seit 12 Jahren völligen Schutz durch Gesetz. Der Elch in Ostpreußen darf nur im September erlegt werden. Elchkälber und weibliches Elchwild haben während des ganzen Jahres Schonzeit. Der Wisent, Bison europaeus, in Bjelowjesh, Gouvernement Grodno, ist durch Gesetz von 1892 während des ganzen Jahres geschützt. Auf das widerrechtliche Abschießen eines Tieres steht eine Strafe von 500 Rubel. Ferner ist Bison americanus, wie oben erwähnt, in dem Yellowstone Nationalpark geschützt.

Literatur. ***H. Conwentz,*** *Forstbotanisches Merkbuch. Bd. 1. Provinz Westpreußen. Berlin 1900.* — ***Derselbe,*** *Die Gefährdung der Naturdenkmäler und Vorschläge zu ihrer Erhaltung. Denkschrift usw. Berlin 1904. (4. Aufl. 1911.)* — ***Derselbe,*** *Om Skydd åt det naturliga landskapet jämte dess växt- och djurvärld särskildt i Sverige. Stockholm 1904.* — ***G. Eigner,*** *Naturpflege in Bayern. München 1908.* — ***H. Conwentz,*** *The Care of natural monuments with special reference to Great Britain and Germany. Cambridge 1909.* — ***A. Mentz,*** *Naturfredning saerlig i Danmark. Kopenhagen 1909.* — *Heimatschutz in Sachsen. Vorträge von Richard Beck u. a. Leipzig 1909.* — ***W. Bock,*** *Die Naturdenkmalpflege. Stuttgart 1910.* — ***K. Guenther,*** *Der Naturschutz. Freiburg i. Br. 1910.* — ***C. Schroeter,*** *La protection de la nature en Suisse. Bruxelles 1910.* — ***R. Pampanini,*** *Per la Protezione della flora italiana. Firenze 1911. (2. ed. 1912.)* — ***J. Massart,*** *Pour la Protection de la nature en Belgique. Bruxelles 1912.* — *Beiträge zur Naturdenkmalpflege. Bd. I bis III. Berlin 1910 bis 1912.* — *Mitteilungen der Komitees für Naturdenkmalpflege in Berlin, Breslau, Danzig, Kassel usw. 1908 bis 1912.* — *Schweizerische Naturschutzkommission. Jahresbericht 1 bis 5. 1906 bis 1911.* — *Sveriges Natur. Svenska naturskyddsföreningens årsskrift. Jg. I bis III. Stockholm 1910 bis 1912.* — *Annual*

Report of the Society for the Preservation of scenic and historic places and objects. I bis XVI. Albany 1896 bis 1911.

H. Conwentz.

Naturwissenschaft.

1. Der Begriff Natur kann den Naturwissenschaften nicht vorgeschrieben, sondern muß aus ihnen selbst abgeleitet werden.

I. **Wert und Ursprung der Naturwissenschaft.** 2. Viele glauben, der Mensch treibe Naturwissenschaft um ihrer praktischen Vorteile willen. Daher bleibe sie doch nur an der Oberfläche der Dinge haften. 3. Scheinbare Gründe dafür. 4. Nachteile des Maschinenzeitalters. 5. Diese haben aber noch andere und zwar abstellbare Ursachen. Auch hilft die Naturwissenschaft selbst jene Nachteile überwinden. 6. Von ihrer Stellung zur Naturwissenschaft hängt heute die Macht der Staaten ab. 7. Der echte Forscher ist nie in erster Linie praktisch interessiert. 8. Das Erkennen ein psychologisch ursprüngliches, in der biologischen Tiefe der menschlichen Natur wurzelndes Verhalten. 9. Es besteht trotz aller Erfahrungen noch immer das Vorurteil von der Selbständigkeit des geistigen Lebens. So haftet man noch immer an der Oberfläche, weil man sich den Weg zu höheren Abstraktionen, die das Psychologische und das Biologische zugleich umfassen, verlegt. 10. Es gibt keine ‚psychische Kausalität‘ 11. Nachweis auf dem Gebiete der Assoziationen von Empfindungen und Vorstellungen. 12. Weiter auf dem des logischen Denkens. 13. Gesetz und Regel. Mechanische Psychologie. Es gibt keine psychische Aktivität, keine haltbare voluntaristische Psychologie. 14. Das wird auch durch die Tatsache der Einheit des Bewußtseins bewiesen, die umgekehrt dadurch aufgehellt wird. 15. Die Regelmäßigkeiten im Ablauf des geistigen Geschehens zwingen uns aber, es eindeutig bestimmt zu denken. Die Bestimmungsmittel liegen in Vorgängen des Großhirns. 16. Das ist freilich wider die herrschenden idealistischen und rationalistischen Erkenntnistheorien. 17. Durch Anlage und Uebung unterscheiden sich zentralnervöse Haupt-und Nebenteilsysteme verschiedener Ordnungen. Die Hauptteilsysteme, die die biologischen Unterlagen der höchsten Begriffe sind, sind Naturgebilde höchsten Ranges. Die Bedrohungen solcher Gebilde sind die biologische Wurzel der Naturwissenschaft. Es gibt keinen prinzipiellen Gegensatz zwischen psychologischem und physikalischem, im besonderen biologischem Geschehen. 18. Wodurch ist die Unbestimmbarkeit psychologischer Vorgänge durch psychologische Mittel bedingt? 19. Das Gemeinsame biologischer und psychologischer Vorgänge: ihr Charakter als Vitalreihen. Die Vitaldifferenz zentralnervöser Teilsysteme höchster Ordnung als Ursprung der Naturwissenschaft.

II. **Aufgabe und Methoden der Naturwissenschaft.** 20. Kurze Bezeichnung dieser Aufgabe. 21. Gegen die Metaphysik als die Romantik in der Wissenschaft. 22. Zwei Vorurteile müssen überwunden werden, die in feinen Ausläufern die heutige Wissenschaft noch durchziehen: die der materiellen und der immateriellen Substanz. 23. Die Wurzeln der Substanzvorstellungen. Das Beharrende in der Veränderung. Das Denken geht über die Tatsachen hinaus. 24. Die analytischen Elemente der Dinge. Die Verwechslung von Wahrnehmungs- und Vorstellungsraum. 25. Die Tatsachen verlangen nur die Anerkennung von relativ, nicht von absolut Beharrendem. Die Umkehrbarkeit der Vorgänge verführt das Denken zum Glauben an absolut Unveränderliches. 26. Der Drang des Denkens nach letzten Stellungen, Tendenz zur Stabilität. Heraklit und Parmenides. Ihr logischer Fehler: sie übersehen die Korrelativität der Begriffe des Seins und des Werdens. 27. Sein und Schein. Die Sinne als Betrüger. 28. Weiterbildung der Substanzvorstellungen. Höhepunkt bei Descartes. Die beiden Probleme des neuzeitlichen Denkens. Vorbereitung von Berkeleys Angriff auf die materielle Substanz. Die Entwickelung seit Locke ist für die heutige Naturwissenschaft von höchstem Interesse. 29. Die Ueberwindung der mechanischen Naturansicht. 30. Der Irrtum der einseitigen Aufhebung der materiellen Substanz. 31. Der dabei auftretende logische Fehler. Die Frage nach dem Wesen der Welt als ganzer ist unlogisch gestellt. 32. Handgreifliche Aufhebung des Gegensatzes von Wirklichkeit und Sinnenschein. Die Relativität aller Bewegung. 33. Der Satz von der Korrelativität aller Begriffe umfaßt das Relativitätsprinzip der Physik. 34. Die gelegentliche Nichtübereinstimmung zwischen der optischen und der taktilo-kinästhetischen Elementengruppe eines Dinges. Vergleich mit der Relativitätstheorie der Physik. Die Wirklichkeit der perspektivischen Verschiebungen und Verkürzungen. 35. Die immaterielle Substanz. Geschichte des Kraftbegriffs. Die Kraft als wirkende Ursache. Die Ersetzung der Frage nach dem Warum durch die nach dem Wie. 36. Nachweis durch Analyse des Gravitationsgesetzes. 37. Machs Kritik des alten Massenbegriffs und seine Neufassung. 38. Die Unhaltbarkeit der gangbaren Kausalitätsvorstellungen. Die Art der Bestimmtheit des Naturgeschehens geht aus der Betrachtung der physikalischen Gleichungen hervor. 39. Die vitalistischen Irrtümer und die historische Notwendigkeit des Vitalismus als des logischen Gegenstücks zur mechanischen Naturansicht. Verteilung der Arbeit auf praktische und theoretische Biologen. 40. Die positive Aufgabe der Naturwissenschaft. Der psychologische Begriff gegenüber dem logischen. Wort und Begriff. 41. Das Wesen des Begriffs ist dasselbe wie das der Reaktionen der Organismen auf Reize. Die Kluft zwischen Natur und Seele schließt sich. 42. Erklären und Beschreiben. 43. Die Methoden der Naturwissenschaft: Vergleichung und Variation.

III. **Der Begriff der Naturwissenschaft.** 44. Die Psychologie muß unter die biologischen Wissenschaften eingereiht werden. 45. Das wird nicht durch die Qualität der Gegenstände der Psychologie gehindert. Die Elemente der ‚Dinge‘ sind zugleich Elemente der ‚Seele‘. Auch umgekehrt sind alle psychologischen Elemente

als Elemente der ‚Natur' anzusehen. 46. Daran hindert das ‚Ich' uns nicht. Nachweis, daß das ‚Ich' ein Begriff ist. 47. Also auch das ‚Ich' gehört zur ‚Natur'. Abgrenzung der Begriffe ‚Natur' und ‚Seele'. 48. Abhängigkeit und Unabhängigkeit der Welt vom wahrnehmenden Individuum. 49. Relativitätsprinzip: die Gleichberechtigung aller denkbaren Elementensysteme in bezug auf das Relationssystem der Natur. 50. Der Standpunkt, von dem aus wir fragen müssen. 51. Die hier entwickelte Anschauung ist relativistischer Positivismus. 52. Die ‚Geisteswissenschaften' sind anthropologische. Sie sind also den Naturwissenschaften zuzuzählen. 53. Zwischen Mathematik und Naturwissenschaften besteht kein prinzipieller Unterschied. 54. Auch Philosophie ist ganz in Naturwissenschaft aufzulösen. 55. Naturwissenschaft wird so mit Wissenschaft überhaupt identisch. Noch einmal ‚Natur' und ‚Seele'.

1. Die Naturforschung ist in weitem Maße von der Feststellung dessen unabhängig, was denn Natur sei. Schließlich aber stößt sie auf Fragen, die zu ihrer Beantwortung einen deutlichen Begriff der Natur verlangen. Solche Fragen sind es, die gerade in unserer Zeit einen immer dringenderen Charakter annehmen: auf anorganischem Gebiete namentlich die nach den Folgerungen aus dem Relativitätsprinzip der Physik und auf organischem in erster Linie die nach dem Zusammenhang des Psychologischen mit dem Biologischen.

Könnten wir mit einer scharfen und zweifelsfreien Definition des Begriffes Natur beginnen, dann wäre es leicht, uns eine zutreffende Vorstellung von dem Sinn und Wesen der Naturwissenschaft zu machen, von ihren Aufgaben und Methoden, von ihrer Bedeutung und ihrem Ursprung, und wir könnten dann auch unschwer zu jenen das heutige Denken so stark beanspruchenden Problemen grundsätzliche Stellung gewinnen. Doch sind solche Definitionen und die dadurch ermöglichte deduktive Behandlung der Probleme nicht Anfänge, sondern Endpunkte von Entwickelungen, wenigstens relative Abschlüsse, wie z. B. die mathematischen Theorien weiter physikalischer Gebiete. Was Masse, Kraft, Energie usw. ist, das muß aus der tatsächlichen Verwendung dieser Begriffe in der Hand des Forschers abgeleitet werden unter Ausschaltung dessen, was er selbst vielleicht von historischen Ueberlebseln dabei noch mitdenkt, ohne in Wirklichkeit Gebrauch davon zu machen. So auch beim Begriff Natur. Wir müssen festzustellen suchen, was die Forschung von alledem, was die einzelnen Forscher etwa als Natur denken, t a t s ä c h l i c h gebraucht, in ihren begründeten Aufstellungen w i r k l i c h handhabt. Das setzt also die tatsächlich bestehende Naturforschung v o r a u s und will nicht aus irgendwie außerhalb ihrer gelegenen, etwa transzendentalen Gebieten ihre Möglichkeit verstehen, in solchen metaphysischen Gebieten nach ihren Bedingungen forschen oder darin ihre Grundlegung geben, sondern will nur das Wesentliche ihres lebendigen Seins erfassen, ihren Gegenstand durch Abstraktion von ihrem Tun ergreifen und ins Bewußtsein heben.

Bei solchem engen Anschluß an die tatsächliche Wissenschaft kann es uns auch nicht beifallen, e n d g ü l t i g e Begriffe von Natur und Naturwissenschaft aufstellen zu wollen, Begriffe für a l l e Zeiten: wir müssen zufrieden sein, wenn sie dem Besten genügen, was u n s e r e Zeit gibt, und wenn wir damit zu Begriffen gelangen, die Hand in Hand mit der fortschreitenden Wissenschaft entwickelungsfähig bleiben, jedenfalls aber nie rückwärts revidiert zu werden brauchen. Wir werden somit nicht metaphysisch, rationalistisch und deduktiv verfahren, sondern positivistisch, empirisch und induktiv und fragen dementsprechend zuerst nach dem Ursprung der Naturwissenschaft, dann nach ihrer Aufgabe und ihren Methoden und endlich nach ihrem Begriff. Wir werden dabei Gelegenheit finden zu ihren allgemein interessierenden Fragen Stellung zu nehmen und eine Weltanschauung darzulegen, die ihr voll genügen kann, weil sie der unmittelbare Ausdruck ihres Tatbestandes ist.

I. Wert und Ursprung der Naturwissenschaft.

2. W a r u m, a u s w e l c h e n p s y c h o l o g i s c h e n M o t i v e n t r e i b t d e r M e n s c h N a t u r w i s s e n s c h a f t ?

Die nächstliegende Antwort dürfte sein: um seiner praktischen Bedürfnisse willen; um sich das Leben leichter und angenehmer zu machen; um sich die physische Ueberlegenheit über den Gegner zu sichern; um der größeren Macht willen; um sich so viel wie möglich zum Herrn über die Natur zu machen, so immer höhere Stufen der wirtschaftlichen Kultur zu erklimmen und damit immer günstigere Voraussetzungen für die Verbreitung der höheren geistigen Kultur zu schaffen.

In der Tat dürfte das auch heute noch die vorwiegende Meinung weiter gebildeter Kreise aller Kulturnationen sein, jener an Zahl noch überwiegenden Kreise, deren Bildung vor allem sprachlich, politisch-historisch, literarisch-ästhetisch und rationalistisch-philosophisch ist. Sie sehen das ununterbrochene und beschleunigte Wachstum der Naturwissenschaft und der mit ihr Hand in Hand gehenden Technik häufig mit scheelen Augen an, gewöhnlich aber als etwas ‚Aeußerliches', das die Entwickelung des eigentlichen, ‚inneren' Menschen kaum

Digitized by Google

berührt und mit seinen höchsten Idealen nicht viel mehr zu tun hat als die physische Ernährung, ohne die es ja nun auch einmal nicht geht: Naturwissenschaft bleibt für sie zuletzt doch nur an der Oberfläche haften und führt nirgends in die Tiefe von Welt und Seele. Die noch von dem mehr als 70jährigen Goethe so leidenschaftlich und bitter verhöhnten Worte Albrecht von Hallers:

„Ins Inn're der Natur dringt kein erschaff'ner Geist,
Zu glücklich, wem sie nur die äuß're Schale weist"

gelten für sie noch immer, und mit Befriedigung weisen sie auf desselben Goethe Wort hin von den „Teilen in der Hand", „Fehlt leider nur das geistige Band." Oberflächlich genug halten sie sich an die mechanische Naturauffassung und glauben, daß auch die führenden Forscher zufrieden gewesen wären und es auch heute noch wären, wenn sie in allen Vorgängen Druck und Stoß kleinster Teilchen erblickt hätten: das sei ihre Welt.

3. Nun drängen sich gewiß dem außerhalb der Naturwissenschaft Stehenden zuerst ihre handgreiflichen und gewaltigen Wirkungen auf die Lebensführung der Menschheit auf. Die heutige Stadt mit ihren hygienischen Einrichtungen, das Wohnhaus mit allen seinen Bequemlichkeiten, die Herstellung der Kleidung, die Beschaffung der Nahrung, die tägliche Beschäftigung der Millionen im Erwerbsleben, die wunderbaren Einrichtungen des Verkehrs- und des Nachrichtenwesens, die mächtigen Werkzeuge zu Schutz und Angriff im heutigen Waffendienst, das und noch vieles andere beruht zum größten Teil auf Naturforschung und Technik und rechtfertigt die Bezeichnung der Gegenwart als des Maschinenzeitalters. Wer nun dabei stehen bleibt, der kommt sehr leicht zu der Meinung, die Naturwissenschaft gestalte nur das äußere Leben, und es gebe ein naturwissenschaftliches Zeitalter nur in einem ähnlichen Sinne, wie es ein Stein-, ein Bronze- und ein Eisenzeitalter gab. Ja, richtet er den Blick mit Vorliebe auf die augenfälligen Schäden, die die stürmische Entwickelung mit sich gebracht und die auszugleichen sie noch keine Zeit gefunden hat, so kann er leicht wohl dazu gelangen, in der neuzeitlichen Formung des Gemeinschafts- und Gesellschaftslebens mehr Uebles als Gutes zu erkennen.

4. Da die Bedingungen für die Existenz immer größerer Menschenmengen fortgesetzt günstiger geworden sind, so hat mit der Bevölkerungszunahme in den meisten Kulturländern in allen Schichten der Gesellschaft auch die Herrschaft der Masse, des Durchschnitts zugenommen, und die Nivellierung vieler reizvoller, mit hohen ästhetischen Werten verknüpfter Unterschiede der einzelnen Völkerstämme und ihrer Sitten schreitet unaufhaltsam fort und preßt einem gemütvollen Dichter wie Rosegger bittere Klagen aus. In die führenden sozialen Schichten sind durch rasch erworbenen Reichtum Leute in Menge emporgestiegen, die keine Zeit und Gelegenheit hatten, der Lebensführung auf größerem Fuß die vornehme Grundlage höherer Bildung zu geben. So macht sich ein unfeiner Luxus, eine geschmacklose Verwendung der großen Mittel und eine brutale Rücksichtslosigkeit breit und gibt ein schlechtes und nur zu sehr befolgtes Beispiel für die weitesten Kreise aller Klassen ab. Denken wir noch an das Drängen nach den großen Städten und die damit verknüpfte Entfremdung des Menschen von der Natur, an die wellenförmig wiederkehrenden wirtschaftlichen Krisen mit dem Mangel an Arbeit für zahlreiche willige Hände, an die erbitterten Lohnkämpfe, die alljährlich über Hunderttausende Not und Kummer bringen, an die vielen, in dem grausamen Getriebe jämmerlich zerschellenden Existenzen, an die furchtbaren, ganze Familien vernichtenden Tragödien, von denen fast jede Nummer der Zeitungen berichtet, so brauchen wir uns der mancherlei Uebel, die auch andere plutokratische Perioden gekennzeichnet haben und die heute in verstärktem Maße auftreten, gar nicht erst zu erinnern, um darüber im klaren zu sein und willig einzuräumen, daß ein gut Teil von dem Glanze des Maschinenzeitalters Talmikultur, äußerlich ist.

5. Indessen, wer mit solchen Gründen die Naturwissenschaft als etwas für unsere Kultur nur Aeußerliches beurteilt, verfährt selbst nur äußerlich, weil er nur nach den entfernten und mittelbaren Wirkungen fragt statt nach den unmittelbaren, nur nach den Begleiterscheinungen statt nach den Dingen selbst. Das sind Folgen und nebenher auftretende Momente, die nur zum Teil in der naturwissenschaftlich-technischen Entwickelung wurzeln und die, soweit sie nachteilig sind, durch Einrichtungen und Reformen bekämpft werden müssen, die eben von jenen anderen an ihrer Entstehung beteiligten Faktoren zu treffen sind. Es ist mit dem Glanze aller glänzenden Zeiten nicht viel anders gewesen als mit dem der Gegenwart. Ein Paradies hat es nie gegeben, in idyllischen Zeitaltern hat die Menschheit nie gelebt. Sie ist ja ein sich Entwickelndes, also noch nicht fertig, unvollkommen, noch mit vielen Unzweckmäßigkeiten behaftet, mit Eigenschaften und Einrichtungen, die nicht so bleiben können, wie sie sind, die die Gewähr

Digitized by Google

der Dauer nicht in sich und nicht in ihren Beziehungen zu den übrigen Eigenschaften und Einrichtungen tragen. Diese instabilen Momente, die im Laufe der weiteren Entwickelung ausgeschaltet werden müssen, falls es hierin Fortschritt gibt, sind also nicht ein Ergebnis der naturwissenschaftlichen Entwickelung allein, sondern eine Reaktion der vorläufig noch nicht angepaßten menschlichen Eigenschaften und der derzeitigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Struktur auf sie und können durch weitere Entwickelung sehr wohl gemildert, schließlich einmal vielleicht sogar zum Verschwinden gebracht werden.

Zu solcher Weiterbildung liefern die Naturwissenschaften selbst wieder sehr gute Vorbedingungen. Die günstigeren Erwerbsverhältnisse des Maschinenzeitalters und die modernen Transportmittel räumen mehr und mehr mit den unmittelbaren Nahrungssorgen, mit Hungersnöten auf, drängen die Armut zurück und bereiten damit den Boden für die Keime der Bildung. In der gleichen Richtung wirkt die fortschreitende Ueberwindung der verheerenden ansteckenden Krankheiten: das Leben wird sicherer und länger, und die Bereitheit, sich über alle Lebensverhältnisse aufzuklären und die gewonnene Einsicht auf die Lebensführung einwirken zu lassen, wächst. Der moderne Buch- und Zeitungsdruck trägt den Bildungsstoff bis zur letzten Hütte. Eisenbahn und Dampfschiff verkleinern die Entfernungen immer mehr, der Erdball schrumpft, die genäherten Völker beginnen ihre gemeinsamen Interessen zu begreifen und arbeiten mit vervielfachter Kraft an der Besserung der sozialen Verhältnisse. Auch des schönen Gedankens von Werner v. Siemens dürfen wir uns hier erinnern, daß die weitere Steigerung der Verwendung der Elektrizität die Dezentralisation des industriellen Arbeitsbetriebs und so schließlich den Abbau der großen Städte zur Folge haben kann.

Räumen wir also ein, daß die naturwissenschaftliche Entwickelung Wunden schlägt, so dürfen wir auch die Anerkennung verlangen, daß sie die Kraft besitzt, Wunden zu heilen. Ja, ich bin überzeugt — und die meisten, die sich mit den Naturwissenschaften näher beschäftigt haben, werden es ebenfalls sein — daß diese heilende Kraft weit überwiegt. Den Schäden gegenüber aber, die dadurch nicht überwunden werden können, steht noch immer die erstaunliche Entwickelungsfähigkeit der menschlichen Natur und der Gesellschaft, von der wir nicht leicht zu hoch denken können. Ist es doch, wenn wir die letzten vier Jahrhunderte überblicken, als ob das alte Dichterwort in immer größerem Umfange wahr würde:

„Vieles Gewaltige lebt, doch nichts
Ist gewaltiger als der Mensch."

6. Wir brauchen hier auf einen Beweis für diese Ansichten nicht einzugehen, weil ebensowenig die guten wie die üblen praktischen Folgen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis in erster Linie einen Einfluß auf die Forschung ausüben. Diese ist stärker verankert. Ihr Lauf könnte auch nicht gehemmt werden, selbst wenn die gegenwärtigen und nächstfolgenden Generationen weit größeren wirtschaftlichen, sozialen und sittlichen Uebelständen ausgesetzt wären, als nach Auffassung der pessimistisch Urteilenden heute bestehen. Schon um ihrer Selbstbehauptung willen müßten die Völker die Naturwissenschaften fördern. Das Volk, das sie unterdrücken wollte, würde seine Machtstellung einbüßen. Die intellektuelle und physische Ueberlegenheit der westeuropäischen Kultur über die asiatische beruht auf der Naturwissenschaft. Japan hätte trotz aller Energie Rußland nicht besiegen können, wenn es nicht die naturwissenschaftlich-technischen Errungenschaften Europas übernommen hätte. Literarisch-ästhetische und sonstige künstlerische Bildung hat nicht genug Initiative, keine Stoßkraft. Ihr Auge ist zu viel nach rückwärts gerichtet, ist zu leicht romantisch gestimmt. Die europäische Befreiung, die Aufklärung, die Ueberwindung des mittelalterlichen Aberglaubens, die Beseitigung der Hexenprozesse, der Inquisition und der Tortur kam durch die Naturwissenschaft. Die asiatische Kultur war erstarrt und wäre in ihrem Mittelalter stehen geblieben, in dem sie ja noch heute zum größten Teile steht, wenn nicht das naturwissenschaftlich neugeborene Europa durch sein Beispiel gezeigt hätte, daß es ein Vorwärts geben könne. Die Denkweise des europäischen Mittelalters begann mit dem Verfall der naturwissenschaftlichen Bildung, der nach der glänzenden Entwickelung naturwissenschaftlichen Denkens von Thales bis Protagoras durch die metaphysischen Spekulationen Platons eingeleitet und mit der Wiederaufnahme des Studiums der Aristotelischen Schriften vollendet wurde. Die Neuzeit aber hub mit den auf naturwissenschaftlichen Gedanken ruhenden Entdeckungsfahrten am Ausgang des 15. Jahrhunderts an und mit dem Aufleben der naturwissenschaftlichen Forschung. Wir stehen mitten in dieser neuen Zeit, in der die Pflege der Naturwissenschaften für die Staaten zur Lebensfrage geworden ist. Ein Verständnis der Gegenwart und ihrer historischen Vorbedingungen ist ohne Verständnis für die Naturwissenschaft nicht möglich. Diese hat sich die Anerkennung der Machthaber erzwungen, und die Staaten

Digitized by Google

müßten sie fördern, wenn sie es noch so widerwillig täten.

7. Herrschaft über die Menschen und damit die Möglichkeit weithin segensreich zu wirken, das ist gewiß für die Völker wie für einzelne kein kleines Ziel, und man kann es wohl verstehen, wenn sich Dichter und Historiker mit Vorliebe gigantische Gewaltmenschen und kraftvolle Völker, die sich solche Ziele setzten, zu Helden für ihre Kunst wählen. Die Naturwissenschaft aber hat an der Umwandlung der menschlichen Verhältnisse weit mehr getan als alle Alexander, Caesar und Napoleon zusammen. Und doch würde man falsch und wieder nur äußerlich urteilen, wenn man sagte, um solcher Ziele willen triebe der Mensch Naturwissenschaft. Nein! Das Leben des echten Forschers ist um Gold und Macht nicht feil. Das Lied von ihm klingt höher.

Was ihn treibt, das ist ein letztes, ursprüngliches, psychologisch nicht weiter zurückführbares Bedürfnis des Menschen: das Verlangen nach Erkenntnis. Er will wissen, wie es um die Dinge und Vorgänge steht, zunächst ganz gleichgültig, ob dies Wissen ihm einen praktischen Vorteil bringt oder nicht. Ganz allein die Sache selbst interessiert ihn. Ist er von einem Problem gepackt, so kann alles andere für ihn völlig in den Hintergrund treten. Goethe vergißt auf seiner ersten italienischen Reise oft den landschaftlichen, historischen und kunstgeschichtlichen Zauber seiner Umgebung, ganz erfüllt von dem Gedanken, ein Prinzip der Pflanzenformen aufzudecken. Nicht anders Robert Mayer auf Java. Anstatt die einzige Gelegenheit auszunützen, die Farben- und Formenfülle der Tropen zu genießen, verbringt er den größten Teil der Zeit in seiner Kajüte auf dem Schiff, um dem Zusammenhang zwischen mechanischer Arbeit und Wärme nachzugehen: die ungewohnt helle Färbung des Venenblutes der Matrosen, denen er zur Ader läßt, fesselt ihn weit mehr als die wunderbare Pracht der heißen Zone. Dieselbe psychologische Lage erkennen wir in Archimedes' Verhalten wieder, als er im Bade den Zusammenhang zwischen dem Volumen eines Körpers und seinem Gewichtsverlust im Wasser erschaut hatte, aber auch in seinem schönen Tode bei der Erstürmung von Syrakus. Und zu welcher tragischen Höhe diese Hingabe der Person an die Sache führen kann, das zeigt uns der Prozeß Galileis, der Lebensgang Robert Mayers, der Märtyrertod Giordano Brunos.

Aus den angeführten Fällen sehen wir auch, daß dieser Erkenntnistrieb mit dem Erstreben persönlicher oder sonstiger praktischer Vorteile nichts zu tun hat, ja, daß er dem Forscher gefährlich werden kann. Die wichtigsten Gesetze sind oft genug ganz „unpraktisch", und der Beifall, den die Forscher selbst den einzelnen Entdeckungen zollen, wird in keiner Weise durch die etwaigen glänzenden wirtschaftlichen Folgen bestimmt. Das ganze Altertum hallt vom Ruhme des Thales wieder, der im Jahre 600 v. Chr. eine Sonnenfinsternis voraussagte, wie die Neuzeit vom Ruhme Newtons, dessen Gravitationsgesetz weder dem Entdecker selbst noch irgendeinem anderen auch nur einen roten Heller eingebracht hat.

Es ist ja begreiflich, daß man den materiellen Nutzen der Forschung hervorhebt, wenn man in außerhalb stehenden Kreisen um Aufbringung von Mitteln für sie wirbt. Man sollte dabei aber die Gefahr nicht außer acht lassen, daß dadurch die weit verbreiteten schiefen Urteile über Wesen und Wert der Naturwissenschaft erheblich unterstützt werden können. Echte naturwissenschaftlich begründete Bildung ist noch wenig verbreitet. Die Tagespresse und die allgemeinen Wochen- und Monatsschriften sind fast ausschließlich in den Händen der politisch-historisch und ästhetisch-literarisch Gebildeten; man darf also in der großen Oeffentlichkeit kein allzu weitgehendes Verständnis für die naturwissenschaftliche Sache voraussetzen. Man ist dort nur zu geneigt, die Hauptsache über den glänzenden Nebenwirkungen zu vergessen. Welches diese Hauptsache ist, dafür hat Poincaré die schönen Worte gefunden: „Wenn ich die Errungenschaften der Industrie bewundere, so tue ich es hauptsächlich, weil sie eines Tages, indem sie uns von den materiellen Sorgen befreit, allen die Muße geben wird, die Natur zu betrachten. Ich sage nicht: die Wissenschaft ist nützlich, weil sie uns lehrt Maschinen zu bauen; ich sage: die Maschinen sind nützlich, weil sie uns eines Tages, indem sie für uns arbeiten, mehr Zeit lassen werden, uns wissenschaftlich zu betätigen." Mit Recht verurteilt er die Kurzsichtigkeit Comtes, der es für unnütz erklärt, die Bestandteile der Sonne zu erforschen, weil diese Kenntnis von gar keinem Gewinn für die Gesellschaft wäre. (Poincaré, Der Wert der Wissenschaft. Leipzig 1906. S. 126.)

8. Das Erkennen ist ein ursprüngliches, aus keinem anderen ableitbares psychologisches Verhalten des Menschen den Dingen und Vorgängen gegenüber. Neben, nicht über ihm stehen die beiden anderen höheren Verhaltungsweisen, das Handeln und das ästhetische Genießen. Wir dürfen die drei auch als theoretisches, praktisches und ästhetisches Verhalten bezeichnen. Keins tritt ohne das andere auf. Wir trennen sie nur durch Abstraktion, die

Digitized by Google

dadurch ermöglicht wird, daß bei den einzelnen Individuen bald die eine, bald die andere Seite je nach Veranlagung, Uebung und Umständen besonders hervortritt. Wie tief der reine, praktisch uninteressierte Erkenntnistrieb in der menschlichen Natur wurzelt, kann man leicht erfahren, wenn man schlichte Menschen aus dem Volke und Kinder beobachtet. Man braucht ihnen nur etwa das Innere eines Automobils oder einen physikalischen Versuch zu zeigen, um ihre lebhafte Aufmerksamkeit zu erregen und die Fragen nach dem Was und dem Warum. Dieser Trieb ist sicher nicht nur vorwissenschaftlich, sondern auch prähistorisch. Von seiner Stärke kann sich jeder leicht eine Vorstellung machen, wenn er sich daran erinnert, welches Interesse ihm gelegentlich die Beschäftigung mit einer geometrischen Konstruktionsaufgabe, mit der Lösung eines Systems von Gleichungen oder auch einer Schachaufgabe oder eines Rätsels abnötigen konnte. Wurzelte er nicht so tief in der menschlichen Natur, dann bestünde keine Aussicht auf Lösung schwieriger Probleme, die jahre- und jahrzehntelange ernstliche und ununterbrochene Bemühung des Forschers verlangen. Keine Hoffnung auf materiellen Gewinn oder praktischen Nutzen vermöchte diesen bei der oft entsagungsvollen, mühsamen, ja quälenden Arbeit zu erhalten. Selbst da, wo er unmittelbar im Dienste der Praxis zu arbeiten scheint — der Chirurg, der einer neuen Operation nachgeht, der Ingenieur, der eine Flugmaschine nach neuem Prinzip zu bauen sucht, der Mikrobiologe, der den Erreger des Krebses zu ermitteln und zu bezwingen trachtet — selbst in diesen Fällen würde schwerlich die Aussicht auf Ruhm und Reichtum genügen, den Forscher an die entbehrungsreiche, harte und langwierige Arbeit zu fesseln. Auch hier ist es das lebendige theoretische Interesse an dem technischen Problem selbst, das den besten Teil der treibenden Kraft abgibt.

Der Beginn eines Erkenntnisprozesses ist ein Zustand des Sich-verwunderns oder Erstaunens über ein Unbekanntes, Unbegriffenes, Zweifelhaftes, Widerspruchsvolles, in seinen Zusammenhängen noch nicht Aufgeklärtes, ein Zustand des Noch-nicht-wissens und doch Wissen-wollens, des Interesses oder wie man diesen psychologischen Ursprung noch beschreiben will (vgl. R. Avenarius, Kritik der reinen Erfahrung II² S. 221 ff.). Hier ist die Quelle aller Wissenschaft, im besonderen auch der Naturwissenschaft. Aber gerade vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus werden wir mit dieser Feststellung noch nicht zufrieden sein. Wir verlangen noch weitere und tiefere Aufklärung. Woher denn jenes Sich-verwundern und Erstaunen? Warum denn das Kennen-wollen, das Interesse? Sind das letzte Tatsachen, über die wir nicht hinausgehen können? Vielleicht Selbstverständlichkeiten des geistigen Lebens?

In der Tat scheinen die meisten so zu denken — nicht auf Grund einer eingehenden Untersuchung der Sache, sondern ganz naiv, wie wir vieles glauben. Sie meinen wohl, wie es schon Aristoteles am Beginn seiner Metaphysik aussprach, daß der ‚Erkenntnistrieb' allgemein in der menschlichen Natur — nämlich in der ‚geistigen' ‚Natur' des Menschen — liege, daß auf ihm jedenfalls alles höhere geistige Leben beruhe, er selbst also nicht weiter ableitbar sei. Nun muß ja schließlich alles Zurückführen in nicht weiter Zurückführbarem enden, mit der Feststellung letzter Tatsachen. Aber es ist eben die Frage, ob die hier schon vorliegen. Oder vielmehr: heute kann es keine Frage mehr sein, daß sie hier noch bei weitem nicht gelegen sind.

Der Mensch ist nicht nur Psyche, sondern auch Physis, Körper, selbst ein Stück von dem, was man gemeinhin als Natur bezeichnet. Und mit diesem Körper, im besonderen mit Vorgängen im Großhirn hängt der Erkenntnisprozeß aufs engste zusammen. Darüber sind diejenigen, die sich mit Gehirn und Seele zugleich beschäftigen, kaum im Zweifel. Im besonderen dürfte unter den Sinnesphysiologen und den Psychopathologen keiner sein, der nicht überzeugt wäre, daß jedes psychologische Erlebnis seine unerläßlichen Bedingungen in parallelen Vorgängen der Großhirnrinde hat. Und auch unter den empirischen Psychologen erhebt sich nur vereinzelt und matter Widerspruch.

Merkwürdig aber, wie sich in dieser wichtigen Frage die meisten Erkenntnistheoretiker verhalten. Sie behandeln sie obenhin, oft gleichgültig, entwerfen ihre Theorien ohne Rücksicht auf sie oder verfügen gar auf Grund anderswoher entspringender, ohne Beachtung der empirischen Naturwissenschaft gewonnener Lehren über den psychophysischen Zusammenhang: er könne kein durchgängiger sein; nicht das gesamte Seelenleben sei biologisch bestimmt zu denken; die höchsten geistigen Funktionen seien autonom, von dem, was man unter Physis verstehe, unabhängig (vgl. Petzoldt, Die Notwendigkeit und Allgemeinheit des psychophysischen Parallelismus. Archiv für systemat. Philos. VIII, 1902, S. 281 ff.).

Nun kann es aber nicht bezweifelt werden, daß, wenn das Seelenleben durchgängig durch Hirnvorgänge bestimmt gedacht werden müßte, daß dadurch unsere erkenntnistheoretischen Anschauungen, die Ansichten über unser Denken, über den Sinn

unserer wissenschaftlichen Tätigkeit und ihrer Ergebnisse aufs tiefstgehende beeinflußt werden müßten. Darum ist es von grundlegender Bedeutung, sich darüber Klarheit zu verschaffen, was wir über die Beziehungen zwischen dem psychologischen und dem biologischen Geschehen anzunehmen genötigt sind.

9. Da ist es nun gewiß sehr wichtig, sich der Errungenschaften der Nerven- und besonders der Sinnesphysiologie, ferner der Psychopathologie und der Hirnanatomie zu erinnern, namentlich der Analyse der optischen, taktilen, kinästhetischen und akustischen Empfindungen, der Untersuchung der Tropismen, der Erfahrungen über die Störungen des zentralen Sprachapparates und der Schreib- und Lesefunktionen, der Aufdeckung der tektonischen und histologischen Gliederung der Hirnrinde (Ebbinghaus, Grundzüge der Psychologie. — Tschermak, die Physiologie des Gehirns, im 4. Bande von Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen. — Loeb, Einleitung in die vergleichende Gehirnphysiologie und vergleichende Psychologie) — aber zur Entscheidung in unserer Frage reicht das nicht aus, weil es dabei an einer eingehenderen Analyse der höheren psychologischen Vorgänge, des theoretischen, ethischen und ästhetischen Urteilens und der höheren produktiven Tätigkeit mangelt, so daß der Gegner biologischer Betrachtungsweise sich noch immer hinter seine Behauptungen autonomer geistiger Funktionen und rein psychischer Schöpfertätigkeit verschanzen kann. Wollen wir psychologisch und erkenntnistheoretisch erheblich vorwärts gelangen, so müssen wir das Vorurteil von der Selbständigkeit des geistigen Lebens überwinden. Anderenfalls bleiben wir an der Oberfläche des psychologischen Geschehens haften trotz aller Versicherungen des erkenntnistheoretischen Idealismus unserer Zeit von seinem Eindringen in die apriorischen Tiefen der transzendentalen Struktur des Geistes u. dgl.

Tief denken, in die Tiefe der Dinge eindringen, heißt zu höheren Abstraktionen aufsteigen; also die einzelnen Vorgänge in immer weitere, umfassendere Zusammenhänge einordnen. Als Newton im Lauf des Mondes und in der Bahn des geschleuderten Steins ähnliche Vorgänge erkannte, da war das ein bedeutender Fortschritt nach der Tiefe der Erkenntnis; nicht minder, als man das Gemeinsame im Bau des Fisches und des Säugetieres bemerkte oder in der individuellen und der phylogenetischen Entwickelung der höheren Organismen; und als Kant sich über Humes kritische Vernichtung der alten Kausalitätsvorstellungen hinwegzuhelfen trachtete, da erwartete er eine tiefere Erkenntnis von dem Versuch, „ob sich nicht Humes Einwurf allgemein vorstellen ließe". Der allgemeinere Begriff ist eben zugleich der tiefere; Tiefe der Einsicht Höhe der Abstraktion.

Wie kann man also hoffen, in das Wesen des psychologischen Geschehens tiefer einzudringen, wenn man es isoliert betrachtet, aus Zusammenhängen herausreißt, in denen es offenbar überall steht, sich zu den allgemeinen Begriffen den Weg verbaut, die wir gewinnen müssen, wenn wir nach dem Allgemeinen des psychologischen und des biologischen Geschehens forschen, nach den Begriffen, die für beide Gebiete zugleich gelten müssen. Und man hat sich diesen Weg einerseits durch den unüberbrückbaren Gegensatz verbaut, in dem man trotz allem die beiden noch immer erblickt; anderseits aber auch durch ganz unhaltbare Vorstellungen, die man aus anthropomorphistischer Naturauffassung in die Betrachtung des Geisteslebens übertrug. Halten wir uns also möglichst schlicht und ungetrübten Auges an die Tatsachen des Seelenlebens, schränken wir uns aber auch nicht auf diese ein!

Da können wir nun einen durchgreifenden tatsächlichen Unterschied zwischen Psyche und Physis feststellen, eine Tatsache von so allgemeiner Geltung, daß sie im Bunde mit jenen Ergebnissen der Biologie des Nervensystems geradezu die Grundlage für unser Denken über Natur und Geist bilden muß. Ihr wollen wir uns zunächst zuwenden.

10. Diese grundlegende Tatsache, auf die wir gar nicht nachdrücklich genug hinweisen können, besteht darin, daß die geistigen Vorgänge untereinander niemals eindeutig zusammenhängen wie die Vorgänge in der Natur; oder anders ausgedrückt: innerhalb des seelischen Gebietes gilt das Gesetz der Kausalität nicht. Soweit wir relativ feste Zusammenhänge — Verknüpfungen, Assoziationen — zwischen seelischen Werten vorfinden, sind sie erst in der Geschichte des Individuums entstanden, sind sie also Entwickelungsergebnisse.

Dieser Tatbestand ist von so großer Bedeutung und noch immer in der Psychologie und Erkenntnistheorie so wenig beachtet, daß wir etwas länger bei ihm verweilen müssen, um ihn uns ganz anzueignen. Im besonderen ist er für unser Thema nicht nur darum wichtig, weil erst er uns zweifelsfrei gestatten wird, den biologischen Ursprung und die biologische Aufgabe der Naturwissenschaft zu bestimmen, sondern weil wir erst auf ihm fußend zu befriedigenden Begriffen von Natur und Geist und also auch zu einem wohlbegründeten Begriff der Naturwissenschaft gelangen werden.

11. Am leichtesten gewinnen wir die

Digitized by Google

Ueberzeugung von der Richtigkeit des aufgestellten Satzes, wenn wir die Aufmerksamkeit auf psychologische Zusammenhänge von größter Festigkeit richten.

Wir erkennen die Geräte, mit denen wir täglich während des Ankleidens, der Arbeit, des Essens hantieren, ohne weiteres wieder: ihr Anblick löst die gefühlsmäßige Charakterisierung jener Gegenstände als ‚derselben‘, mit denen wir schon lange zu tun gehabt haben, aus. Man sollte meinen, hier liegen also offenbar Fälle nach dem Schema von Ursache und Wirkung vor. Das wäre aber eine irrtümliche Auffassung, wie schon aus den bekannten Fällen hervorgeht, daß Irrsinnige oft genug ihre nächsten Angehörigen nicht erkennen; ein Patient Charcots erkannte gelegentlich sogar sich selbst nicht, wenn er in den Spiegel sah. Man kann hier nicht einwenden, das sei eben durch die geistige Erkrankung psychologisch begründet. Denn die ‚Seele‘ oder der ‚Geist‘ — das ist heute in der Wissenschaft allgemein anerkannt — ist nichts außerhalb der sogenannten seelischen oder geistigen Vorgänge: eine ‚Veränderung oder Erkrankung des Geistes‘ bedeutet also eben psychologisch nur, daß die gewöhnlichen oder normalen Zusammenhänge nicht mehr so regelmäßig wie vorher oder überhaupt nicht mehr auftreten, ist also im Grunde nur die Feststellung des Tatbestandes, dessen Geltung wir beweisen wollen. Ja, wie unmöglich jene älteren Auffassungen vom Geiste, seiner Kausalität und seinen Erkrankungen sind, dafür liefert wieder die Pathologie selbst den schlagendsten Beweis mit dem anderen Fall, daß ein Patient seine Uhr oder sein Taschenmesser nicht erkennt, wenn man sie ihm zeigt, daß er sie aber auf Verlangen ganz richtig und genau beschreibt. Wenn also dieses richtige Bild von jenen Gegenständen ‚in seinem Geiste‘ gewesen wäre, so hätte es doch wohl auch der optischen Wahrnehmung der Uhr und des Messers, deren die betreffenden Patienten sehr gut fähig sind, zur Verfügung stehen und zur Wiedererkennung dieser Geräte führen müssen, falls es eine ‚psychische Kausalität‘ gäbe.

Wäre diese letztere wirklich vorhanden, dann könnten wir die Tatsache, daß wir Gelerntes oder Erlebtes oft vergessen, nicht verstehen. So wie wir einen Bruchteil eines Verses, etwa eines Gedichtes, hörten, müßte uns sofort das ganze Gedicht wieder einfallen. Der Geistliche könnte nie im Vaterunser stecken bleiben. Und es wäre auch repetitio nicht mater studiorum, denn ein einmaliges Durchlesen müßte genügen, das Gelesene fest und für immer einzuprägen. Die Notwendigkeit der Uebung wäre also gar nicht zu verstehen, wenn es innerhalb des seelischen Gebietes Kausalität gäbe.

Als seelische ‚Ursache‘ eines ‚psychischen Aktes‘ könnte übrigens immer nur der diesem Akte unmittelbar vorhergehende in Frage kommen oder für einen Teil oder eine Seite jenes Aktes ein mit ihm gleichzeitiger anderer Teil oder eine andere Seite. Anderenfalls würde die erforderliche Eindeutigkeit des ‚kausalen‘ Zusammenhanges fehlen, weil dann sofort die Zeit, die zwischen den in kausalem Verhältnis stehenden Akten verflösse, oder die Zahl der dazwischen liegenden ‚Akte‘ als bestimmendes Moment auftreten würde. Wo gibt es aber ein eindeutiges psychologisches Zeitmaß oder wo die Möglichkeit, aufeinanderfolgende ‚psychische Akte‘ zahlenmäßig scharf abzugrenzen? Es ist somit eigentlich schon zu viel verlangt, wenn man als ‚seelische Ursache‘ den einem ‚psychischen Akte‘ unmittelbar vorhergehenden Akt fordert. Welches könnte denn der unmittelbar vorhergehende Akt sein? Wie könnte er eindeutig festgelegt werden?

12. Wenn man aber auch die innerpsychische Eindeutigkeit für das Gebiet der Assoziation der Empfindungen und Vorstellungen preisgibt, so könnte sie ja immer noch auf anderen Gebieten bestehen. Am meisten drängt sich da wohl das des strengen logischen Denkens auf. Hier spricht man ja von ‚Folgerichtigkeit‘. Ist vielleicht hier die gesetzmäßige feste Verknüpfung zu finden, wie sie Spinoza tatsächlich hier gefunden zu haben glaubte?

Allein wie könnte denn dann auch unlogisch gedacht werden? Und reihen sich etwa ohne weiteres an die Voraussetzungen die Folgerungen an? Und bei allen und bei jedem einzelnen zu verschiedenen Zeiten dieselben Folgerungen? Wie leicht müßte es dann sein, Mathematik zu lernen, mathematische Sätze zu finden, die ganze Mathematik der Vergangenheit und der Zukunft wie die einzelnen Bilder eines rotierenden Films vor dem Geiste vorübergleiten zu lassen!

Nein, das logisch Haltbare ist nur eine ausgezeichnete unter sehr vielen psychologischen Möglichkeiten. Und die mathematischen Sätze müssen genau so wie die Sätze in anderen Wissenschaften durch Versuche, hier meist durch Gedankenexperimente, gewonnen werden. Experimentieren ist aber ein Probieren. Man versucht, ob der oder jener Gedanke, die oder jene Vorstellung zu dem Komplex der schon vorhandenen und gesicherten paßt oder ihm widerspricht. Und diese neuen so zu prüfenden Gedanken oder Vorstellungen sind niemals eindeutig durch das vorhergehende Denken bestimmt, sie sind mehr oder weniger glückliche ‚Einfälle‘, ‚Gaben der Phantasie‘, d. h. doch

Digitized by Google

schon nach diesen Namen: sie sind unberechenbar, man hat ihr Eintreten nicht in der Gewalt, man kann es nicht technisch beherrschen wie den Gang einer Maschine oder den Verlauf eines physikalischen Experiments. ‚Logisch‘ denken heißt also: dem Satze des Widerspruchs entsprechend beurteilen, ob irgendwie auftretende, aus den vorangehenden nicht eindeutig ableitbare Vorstellungen zu dem schon bestehenden, anerkannten Bestand an Einsichten passen, sich dem bereits geltenden Wissen einfügen oder nicht. Und logisch ‚richtig‘ wurde gedacht, wenn sich dieses Urteil dauernd aufrecht erhalten läßt, wenn also der Satz des Widerspruchs dabei nicht verletzt wurde. Aus dieser Analyse des tatsächlichen Verlaufes der Prozesse, die man als logisches Denken bezeichnet, geht deutlich hervor, daß dabei von einem eindeutig durch bloße psychologische Elemente bestimmten Ablauf der Gedanken keine Rede sein kann.

13. Geht man so die psychologischen Gebiete alle durch, so findet man nirgends auch nur einen einzigen Fall, in dem psychologische Elementarvorgänge gesetzmäßig miteinander verknüpft wären, wie es physikalische Vorgänge untereinander sind. Durch eine einzige Ausnahme muß ein Gesetz gestürzt werden. Wo es Ausnahmen gibt, da liegen nur Regeln vor. Ein Gesetz gibt an, was stets geschieht, eine Regel nur, was meist geschieht. Auf rein psychologischem Gebiet bestehen nur Regeln, nach dem Schema: wenn A auftritt, dann gewöhnlich — unter normalen Verhältnissen — auch B. Das Gesetz aber würde stets B im Zusammenhang mit A verlangen. Der Satz, daß im Gleichgewichtsfall am Hebel die statischen Momente einander gleich sind, ist noch stets als gültig befunden worden. So oft man Natrium auf Wasser wirft, entsteht Wasserstoff. Es ist aber noch nie gelungen, eine einzige solche feste Beziehung zwischen rein psychologischen Werten aufzustellen, trotzdem doch die Psychologie seit vielen Jahrzehnten sich heiß um Gesetze bemüht hat. In derselben Zeit, in der die Entdeckungen eindeutiger Zusammenhänge den Naturwissenschaften in reichster Fülle gelangen, fand die reine Psychologie nur einige Regeln, ohne sie aber übrigens als solche zu erkennen. Es war ein Irrtum, überhaupt Gesetze innerhalb der Psyche zu erwarten: eine vorurteilslose Betrachtung des ganz offen zugänglichen Tatsachenmaterials — dessen, was jeder alle Tage an sich selbst erlebt — hätte schon von vornherein den Begriff des Gesetzes von diesem Gebiet ausschließen müssen.

Das Vorurteil, das den Blick trübte, war die mechanische Naturansicht. Sie hatte sich bereits alle Gebiete der Natur unterjocht und hier scheinbar die größten Triumphe gefeiert. Zu natürlich, daß sie ihre Herrschaft auch auf das psychologische Gebiet zu erstrecken suchte. Gewisse Auffassungen der Assoziationstheorie, nach denen die eine Vorstellung die andere mit ihr in Berührung gewesene oder ihr ähnliche gleichsam ‚anstößt‘ und ins Bewußtsein hebt, dann die Herbartsche Mechanik der Vorstellungen, schließlich aber überhaupt der Gedanke der psychischen Kausalität sind deutliche Folgen jenes Uebergriffs.

Können aber für psychologische Werte weder in gleichzeitig noch in vorher auftretenden solchen Werten eindeutige Bestimmungsgründe gefunden werden, so muß damit auch jeder Begriff einer ‚Aktivität‘ für das Verständnis des geistigen Lebens fallen gelassen werden, also auch jede voluntaristische Psychologie. Das ‚Ich denke‘ muß dem unpersönlichen ‚Es denkt‘ weichen, wie das ‚Jupiter donnert‘ dem unpersönlichen ‚es donnert‘ gewichen ist. Auch keinerlei ‚psychische Funktionen‘ bleiben mehr übrig. Die Willenshandlung ist von der empirischen Psychologie in ein bloßes Geschehen, in eine Folge von Ereignissen aufgelöst worden, an der sich bei noch so genauem Zusehen kein elementarer aktiver Faktor auffinden läßt. Wir können hier auf diese Frage nicht eingehen und müssen auf die Literatur darüber hinweisen (Münsterberg, Die Willenshandlung. Freiburg i. Br. 1888. — R. Avenarius, Kritik der reinen Erfahrung II 2. Aufl. 1908, S. 153ff.), werden aber später den historischen Grund berühren, auf den sich alle psychologischen Aktivitätslehren stützen. Der unbefangen Beobachtende wird keinerlei Aktivitätsmoment wahrnehmen, der befangene Beobachter aber glaubt es zu bemerken, weil er sich von den Resten der Substanzvorstellung nicht losmachen kann (vgl. z. B. Ach, Ueber den Willensakt und das Temperament. Leipzig 1910 und Stumpf, Erscheinungen und psychische Funktionen. Abhandl. d. k. pr. Ak. d. Wiss. 1906).

14. Befreien wir uns von der Vorstellung der psychischen Kausalität vollständig, so bekommen wir erst den rechten Blick für die psychologischen Tatsachen. Gleich eine der wichtigsten wird uns in anderem Lichte erscheinen, zugleich aber einen neuen Beweis für unseren Satz vom Fehlen der Eindeutigkeit des rein psychologischen Zusammenhangs liefern: die Tatsache der ‚Einheit des Bewußtseins‘.

Diese Einheit besteht darin, daß ‚ich‘ mich in der Zeit als ‚denselben‘ empfinde und denke; daß ‚ich‘ es war, der gestern und im vergangenen Jahr und Jahrzehnt, und soweit ich zurückdenken kann, das und

Digitized by Google

das erlebte, woran ‚ich' mich erinnere; daß ‚ich' trotz aller Entwickelung meiner Persönlichkeit, trotz aller Erweiterung meines Gesichtskreises, meines Wissens und Könnens doch auch weiß, daß ‚ich' es war, der diese Eigenschaften früher nicht besaß. Genauer müßte ich sagen: daß ich mir der kontinuierlichen Entwickelung meines heutigen ‚Ich' aus dem früheren bewußt bin; daß bei jedem Entwickelungsschritt mancherlei hinzugefügt oder abgeworfen wurde, daß aber auch vieles in jeder solchen Aenderungsperiode so blieb, wie es vorher war; und daß wohl einiges oder vieles, was ich heute an mir finde, in die fernsten Zeiten, deren ich mich als von mir erlebter erinnern kann, zurückreicht. Solche Einheit des Bewußtseins oder wohl besser solche Kontinuität der Persönlichkeit ist nun gar nicht denkbar, wenn nicht jede Erinnerung an früher Erlebtes mit jeder anderen solchen Erinnerung oder auch mit jeder gegenwärtigen Wahrnehmung, die ich mache, eng verknüpft auftreten, wenn sich nicht jedes frühere Erlebnis mit jedem anderen im gegenwärtigen Erinnerungs- und Wahrnehmungsfelde assoziieren kann. Woran man sich nicht mehr zu erinnern vermag, das gehört einem nicht mehr an, das kann nicht mehr zu unserer gegenwärtigen Persönlichkeit und ihrem Einheitsbewußtsein beitragen, das hilft unser Ich nicht mehr mit aufbauen.

Sollen aber alle wirklichen Komponenten des Ich jene Beweglichkeit haben, die die Verknüpfbarkeit einer jeden mit jeder anderen voraussetzt, so dürfen sie nicht maschinenartig einander in ihrem Auftreten bestimmen, wie es die physikalischen Vorgänge untereinander tun; und das heißt: das Gesetz der Eindeutigkeit, das alle anorganische und organische Natur beherrscht, kann innerhalb des rein psychologischen Gebietes nicht bestehen: es gibt keine psychische Kausalität; mit der Tatsache der Einheit des Bewußtseins ist nur das Fehlen eindeutiger psychologischer Bestimmungsmittel für psychologisches Geschehen vereinbar. (Näheres siehe Petzoldt, Einf. i. d. Philos. der reinen Erfahrung Bd. I: „Die Bestimmtheit der Seele", S. 57ff.)

15. Diese Einsicht in die Unmöglichkeit, den Kausalitätsbegriff der Naturwissenschaft auf das psychologische Gebiet zu übertragen, ist gewiß schon an und für sich eine wichtige Erkenntnis. Sie erhält aber noch größere Bedeutung durch die Folgerungen, die wir aus ihr ziehen müssen. Deren vornehmste ist die, daß das seelische Geschehen ohne Ausnahme an Vorgänge im Gehirn gebunden ist, womit natürlich nicht etwa gesagt ist, daß die ‚Seele' ihren ‚Sitz' im Gehirn habe oder daß das seelische Geschehen durch das Gehirn erzeugt werde u. dgl. m.; wir werden später sehen, wie wir uns dieses Verhältnis zu denken haben.

Zu jener Folgerung gelangen wir unausweichlich, wenn wir die Regelmäßigkeiten des geistigen Geschehens beachten. Sie liegen in dem im allgemeinen gleichmäßigen Verhalten des Menschen in gleichen Lagen. Schon die Leistungen des bloßen mechanischen Gedächtnisses bezeugen, daß das geistige Geschehen in weitem Umfange stationär ist. Aber wir wenden den Eindrücken unserer Umgebung gegenüber auch immer wieder dieselben Begriffe an und immer wieder reagieren wir in ähnlichen Lagen mit ähnlichen Handlungen. Wie schwer der Mensch aus seinen alten Geleisen zu bringen ist, das zeigt die Geschichte des Fortschritts überall. Der Durchschnittsmensch, aber sehr oft auch der Reformer auf den Gebieten, die außerhalb des engeren Feldes seiner schöpferischen Tätigkeit liegen, ist konservativ, träge, Neuerungen nicht eben mit Gerechtigkeit, geschweige denn willig entgegenkommend: die Gewohnheit nennt er seine Amme.

Solche — teils heilsame, teils schädliche — Stabilität ist nur als Ergebnis ausnahmsloser Gesetze denkbar. Lägen ihr solche nicht zugrunde, dann stünden wir vor dem unbegreiflichen Wunder; Gesetzlosigkeit ist nur mit dem Chaos vereinbar; die Ordnung, und wenn sie noch so unvollkommen ist, verlangt das Gesetz. Auch in der Natur beobachten wir regelmäßige Vorgänge im Gegensatz zu gesetzmäßigen. So die meteorologischen Erscheinungen oder die Formen der Organismen. Aber kein Naturforscher ist im Zweifel darüber, daß hinter diesen Regeln mit ihren Ausnahmen ausnahmslose Gesetze stehen. Genau so müssen wir als Hintergrund für die bloße Regelmäßigkeit im psychologischen Geschehen die Festigkeit irgendwelcher Gesetze fordern, deren Ergebnis erst jene Regelmäßigkeit ist.

Wo aber die geforderte und innerhalb des seelischen Gebietes nicht zu findende Gesetzmäßigkeit zu suchen ist, das kann nicht zweifelhaft sein. Sicher nicht im Transzendenten. In dieses Reich der Willkür und Phantastik wären wir erst dann gezwungen uns zu flüchten, wenn die Erfahrung keinerlei Aussicht böte, unser Verlangen nach eindeutiger Begreifbarkeit alles Wirklichen zu stillen. So steht es aber zum Glück nicht. Vielmehr liegen, wie schon oben (unter 9) berührt, reiche Erfahrungen vor, die uns die Wege weisen, welche wir zu gehen haben. Die eindeutigen Bestimmungsmittel für das geistige Geschehen — das dürfen wir jetzt als ein gesichertes Ergebnis der hier wiedergegebenen Untersuchungen betrachten — müssen ausnahmslos

Digitized by Google

und vollständig in den biologischen Vorgängen der Gewebe der grauen Hirnrinde auffindbar gedacht werden.

Damit fällt die Lehre von der Selbständigkeit des geistigen Lebens. Das Seelenleben ist nicht autonom und ist auch nicht aus sich heraus wissenschaftlich zu begreifen. So muß das gesamte seelische Geschehen in biologische Beleuchtung rücken, wir müssen uns selbst nicht nur mit unserem Leib, sondern auch mit unserem geistigen Leben mitten hinein in die große Natur gestellt erblicken, uns selbst als einen Teil dieser Natur denken und empfinden lernen.

16. Das ist freilich das gerade Gegenteil von dem, was nach unseren noch immer herrschenden idealistischen und rationalistischen (oder „logizistischen") Weltanschauungen richtig sein soll. Für diese ist, noch ohne daß sie den Zusammenhang von Leib und Seele prüfen, das ‚Bewußtsein', das ‚Denken' das unmittelbar Gegebene; von ihm erst stammen die Begriffe und die Gesetze, mit denen die Biologie ihren Stoff bearbeitet; das gesamte Denken biologischen Gesichtspunkten unterwerfen würde also für sie nichts anderes heißen als durch einen Teil seiner Erzeugnisse das Ganze erklären wollen; jede einzelne Wissenschaft sei Denkprodukt: also könne jede aus den Eigenschaften des Denkens verstanden werden, niemals aber das Denken selbst aus einer einzelnen Disziplin, die ja das Denken eben selbst zur Voraussetzung habe. Das Denken richte sich nicht nach der Natur, sondern schreibe ihr seine Gesetze vor — das ist die berühmte Stellungnahme Kants, seine Kopernikanische Umkehrung. Die Erfahrung — und darunter fällt für Kant auch die Naturwissenschaft — ist das Erzeugnis zweier unerfahrbarer, nur aus gewissen Gründen notwendig zu erschließender Komponenten, der transzendenten Dinge an sich und der transzendentalen reinen Vernunft, des transzendentalen reinen Denkens: die Dinge an sich affizieren uns und veranlassen unser eigentliches, aber ebenfalls jenseit aller Erfahrung gelegenes Ich, das ‚Ich an sich', wie wir es bezeichnen dürfen, zu Anwendungen seiner Mittel, der Formen der räumlichen und zeitlichen Anschauung und der Kategorien (der Substanzialität und der Kausalität usw.). Die Mehrzahl der Kantianer hat nun zwar das Ding an sich verworfen — womit das System Kants nicht verbessert worden ist (vgl. Riehl, Der philosophische Kritizismus, I² 1908); daß aber angesichts der wirklich vorliegenden Tatsachen die angeblichen apriorischen Funktionen des transzendentalen Bewußtseins nicht weniger unhaltbar sind, soweit ist die herrschende Philosophie noch nicht vorgedrungen. Sie analysiert nicht das wirklich stattfindende ‚Denken' mit Hilfe der induktiven Methoden, sondern sie sucht seine transzendentalen, die erfahrungsmäßig gegebenen Denkakte erst ‚ermöglichenden' Eigenschaften und Fähigkeiten zu erschließen und glaubt sogar dazu eine besondere Methode zu besitzen, die zu der Ermittelung der angeblich logisch notwendigen Voraussetzungen angeblich allgemeiner und notwendiger Sätze der Einzelwissenschaften führen soll.

Aber auch die meisten übrigen Erkenntnistheoretiker und Psychologen, die sich dem Kantischen Formalismus gegenüber freier stellen, sehen noch immer in dem Denken, in den ‚psychischen Funktionen', in der ‚psychischen Spontaneität' oder ‚Aktivität' oder wie man es bezeichnen mag, ein von allem sonstigen Geschehen prinzipiell verschiedenes und sind daher selbst dann, wenn sie sich dem empirischen psychophysischen Parallelismus gegenüber zustimmend verhalten, nicht geneigt, die unerläßlichen Folgerungen zu ziehen. Es ist zuletzt das uralte, trotz aller eindringlichen Kritik eines Hume noch immer nicht überwundene Vorurteil von der Existenz einer Seele, einer seelischen Substanz, das sich hier dem Fortschritt der Gedankenentwickelung entgegenstemmt und in unseren voluntaristischen Psychologien und logizistischen Erkenntnistheorien nur eine neue Form angenommen hat (vgl. Petzoldt, Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus, 2. Aufl. Leipzig 1912.)

Solche einseitig nur oder vorwiegend die psychologische Seite beachtenden Theorien sind starke Hemmnisse für das volle Verständnis der Naturwissenschaft überhaupt, und im besonderen setzen sie sich mit der biologischen Unterlage des geistigen Lebens in unerkannten Widerspruch. Sie lassen eben die eine Hälfte der Sache ganz oder doch beinahe ganz außer Augen und schränken so ihren Horizont ein. Nur so ist man zu jenen Wissenschaftstheorien gelangt, nach denen das Denken unbedingte, allgemeine und notwendige Erkenntnis zum Ziele habe, ihm absolute Wahrheiten zugänglich seien, es sich selber im Besitze von Gesetzen finde, die zu solchen Wahrheiten führen müßten, usw. Sehen wir aber von allen Theorien ab, die Leib und Seele so scharf gegenüberstellen und das von Hause aus doch geschlossene Erfahrungsganze unheilbar zerreißen, dann können uns, wenn wir nur den schon lange bekannten Tatsachen willig folgen und uns ununterbrochen die Notwendigkeit der Bestimmung des geistigen Geschehens durch biologisches vergegenwärtigen, die gemeinsamen Züge der beiden Gebiete nicht entgehen, und jedes von beiden wird uns das andere aufklären helfen.

17. Da folgt zunächst, daß der großen Mannigfaltigkeit von praktischer Betätigung und geistigen Interessen eine ebenso große Mannigfaltigkeit von Teilsystemen der Großhirnrinde entsprechen muß. Nicht aber so, daß diese Teilsysteme deutlich abgegrenzt nebeneinander lagernd zu denken wären, sondern einander in der verwickeltsten Weise durchsetzend wie ein Telephonnetz jede Station mit mehr oder weniger zahlreichen anderen oder Gruppen von anderen schon verbunden oder noch verknüpfbar. Denn die einzelnen Begriffe und Gesetze, mit

Digitized by Google

denen wir die Dinge und Vorgänge in Natur und Geistesleben auffassen, gehören stets einer kleineren oder größeren Mannigfaltigkeit von Systemen an und können auch noch zu mehr oder weniger weiteren solchen Systemen verknüpft werden. Dieser Begriffshierarchie, dieser Horizontal- und Höhengliederung jener psychologischen Gebilde muß eine Neben- und Ueber- und Unterordnung von biologischen Gebilden genau parallel gehen. Das läßt sich räumlich im allgemeinen recht gut vorstellen. Dieses verwickelte biologische System aufzudecken, kann natürlich erst Sache künftiger Forschu ng sein. Es muß aber beachtet werden, daß unser Zweck, den Zusammenhang von psychologischem und biologischem Geschehen im Prinzip zu durchschauen und damit den allgemeinen Sinn des Erkenntnisprozesses zu enthüllen, von diesen Forschungen unabhängig ist. Ob und wie die Vorgänge in der einzelnen Ganglienzelle oder dem einzelnen Neuron einem ganzen System von Begriffen zu genügen vermögen, oder ob der einzelne Begriff während seines Funktionierens eine ganze Gruppe jener nervösen Elementargebilde beansprucht, das ist für unsere Frage gleichgültig. Genug, daß es keine Schwierigkeit macht, der Mannigfaltigkeit und Verwickelung der geistigen Prozesse eine mindestens ebenso reiche Gliederung auf biologischer Seite entsprechend zu denken. Jedenfalls läßt die Flechsigsche Aufteilung der Hirnrinde namentlich in der Stirnpolregion noch Raum genug für nervöse Teilsysteme der höchsten Ordnungen übrig.

Wie nun im geistigen Leben des Individuums die einzelnen Interessengebiete sehr verschiedene Rollen spielen, so sind auch die ihnen entsprechenden Teilsysteme des Hirnmantels für dessen Gesamtleben von sehr verschiedener Bedeutung. Wir unterscheiden daher Haupt- und Nebenteilsysteme erster, zweiter, dritter usw. Ordnung. Die entscheidenden Faktoren für diese Rangordnung sind Anlage und Uebung. Je häufiger in dem einzelnen Teilsystem die ihm eigentümlichen Prozesse ablaufen, desto „geübter" ist es, und je größer dieses Uebungsmaß gegenüber dem anderer Teilsysteme ist, desto mehr tritt es vor diesen hervor, desto charakteristischer wird es für das Individuum. Diese Sachlag. ist wohl zu beachten. Denn sie führt sofort zu einer sehr wichtigen Folgerung.

Organismen und überhaupt relativ abgeschlossene biologische Systeme sind Gebilde, die in hohem Maße die Fähigkeit haben, sich Reizen und Angriffen gegenüber durch eigenartige Reaktionen zu behaupten. Jede einzelne Zelle, ob sie isoliert ist oder in einem Zellverbande steht, muß imstande sein, den Einflüssen gegenüber, die sie abändern oder gar vernichten würden, wenn sie sich ihnen gegenüber nur passiv verhielte, mit Vorgängen in ihrem eigenen Körper zu antworten, die eben die relative Stabilität ihrer Struktur und das Stationäre ihrer periodischen Lebensprozesse gewährleisten. Ist sie aber noch ein entwickelungsfähiges Gebilde, hat sie also einen endgültigen Zustand ihrer Struktur und ihrer Funktionsweisen noch nicht erreicht, so vermag sie noch Formen und Verhaltungsweisen anzunehmen, die sie anderen Einflüssen als den bisherigen und einem umfassenderen Kreise solcher Reize und Angriffe gegenüber widerstandsfähig machen: sie paßt sich anderen und größeren Verhältnissen an. Was von den einzelnen Zellen, das gilt auch von den kleineren und größeren Verbänden, in denen sie stehen. In diesen Zellgemeinden und Zellstaaten arbeiten die einzelnen Individuen und Teilverbände so zusammen, daß das Ergebnis eine mehr oder weniger lange Zeit, die Lebenszeit hindurch immer Erhaltung oder Anpassung ist.

In unserem besonderen Falle der Teilsysteme der Hirnrinde nun vermögen wir auf Grund des empirischen psychophysischen Parallelismus wichtige Schlüsse auf den Bau und das Leben jener Gebilde zu ziehen, um dann umgekehrt wieder aus jenen biologischen Verhältnissen wichtige Aufschlüsse über die Bedeutung der psychologischen Vorgänge und im besonderen des Erkenntnisprozesses zu gewinnen.

Wir sehen häufig, daß, wer von einem starken Interesse ergriffen ist, alle Geistes- und Körperkräfte in dessen Dienste stellt: man denke an den von seinem Problem erfüllten Forscher, Künstler, Techniker, Kaufmann, Politiker, aber auch an den ehrgeizigen Streber, den leidenschaftlichen Sammler, den Geizhals, den Verführer, den gewerbsmäßigen Einbrecher, den Alkoholiker oder Morphinisten usw. Hier hat sich ein Teilsystem des Gehirns durch Anlage und Uebung zu einem alle anderen an Bedeutung weit überragenden Hauptteilsystem entwickelt, und die übrigen sind entweder teilweise oder ganz verkümmert oder sind in weitem Maße zu Hilfssystemen für die Erhaltung jenes stärksten geworden oder stehen endlich, ohne jenes zu fördern und vielleicht auch ohne es zu stören, neben ihm; wie etwa das gleichmäßig befriedigte sexuelle System oder die physiologische Unterlage einer Liebhaberei. Von besonderem Interesse ist für uns nun jene Unterordnung weiter Gebiete des Zentralnervensystems unter das beherrschende Hauptteilsystem. Sie ist das, was man auf den Gebieten geistiger Betätigung oft Einseitigkeit nennt, und steht im scharfen Gegensatz zu der Koordination völlig gleichberechtigter biologischer Teil-

Digitized by Google

systeme wie etwa des Verdauungs-, des Blutkreislaufs- und des Atmungssystems. Die absolutistische Alleinherrschaft eines solchen zentralnervösen Hauptteilsystems kann so weit gehen, daß ihm andere Systeme gänzlich aufgeopfert werden. So bedauert Darwin einmal, daß er über seinen wissenschaftlichen Interessen ganz den Geschmack an den Erzeugnissen der Dichtkunst verloren habe, und meint, daß er ihn sich hätte erhalten können, wenn er in jüngeren Jahren sich öfter, als er getan, die Zeit genommen hätte, sie zu genießen. In äußersten Fällen aber wird im Interesse eines solchen herrschenden Systems der ganze Unterbau, auf dem es ruht, gefährdet, ja geopfert und damit sein eigener Untergang gewagt oder gar herbeigeführt (Märtyrer; Retter aus Lebensgefahr; Alkoholiker).

Daraus geht deutlich hervor, daß die Großhirnrinde nicht ein Organ zur Erhaltung des Individuums ist, wie man es noch häufig darstellt, sondern daß ihre entwickeltesten Teile vielmehr selbst die beherrschenden Systeme sind, die die übrigen zu ihrer Erhaltung in ihren Dienst zwingen. Der vegetative Körper ist nur der Wohnplatz und das Werkzeug für jene höheren, ‚animalischen‘ Teile (Petzoldt, Einführung i. d. Philos. d. reinen Erf. II, S. 178ff.). Soweit diese die biologischen Bedingungen für die wissenschaftlichen, technischen und künstlerischen Betätigungen sind, stellen sie die höchsten organischen Gebilde dar, die wir kennen, die Endglieder der biologischen Entwickelung auf unserem Planeten (vgl. dazu Mach, Analyse der Empfindungen, 6. Aufl. S. 315). Wenden wir zum Vergleich das Bild von Zweck und Mittel an, so dürfen wir sie nur als die letzten und höchsten ‚Zwecke‘, als ‚Selbstzwecke‘ bezeichnen, während der vegetative und lokomotorische Mensch und alle niederen zentralnervösen Teilsysteme des menschlichen Körpers nur als ‚Mittel‘ zu ihrer Verwirklichung gelten können. Während und indem diese feinsten und wunderbarsten Zellengewebe leben, sich behaupten und entwickeln, lebt, behauptet und entwickelt sich die Wissenschaft und im besonderen ihre jüngste Blüte, die Naturwissenschaft. Deren Ursprung liegt in den Bedrohungen, die jene zarten, reizbaren, empfindlichen und exponierten Gebilde durch die Reize der Umwelt erfahren, zu der auch ihre zentralnervösen Nachbargebilde gehören. Die Vorgänge, die in diesen ablaufen, können ebenso wie die Reize der außerkörperlichen Umgebung für jene fördernd, aber auch schädigend sein, einen Angriff auf ihren Bestand bedeuten, in der psychologischen Parallele ein Problem.

Wenn wir bei der Analyse des psychologischen Geschehens auf diese biologischen Verhältnisse achten, dann können wir auch hier die merkwürdigen Anstrengungen beobachten, die die Natur macht, um ihre Erzeugnisse zu erhalten, können auch hier Zuschauer sein eines oft erbitterten Kampfes, eines echten Kampfes ums Dasein. Wer hätte nicht schon in einem Streit um wissenschaftliche Dinge dem Gegner ein Nein entgegengeschleudert, das er in diesem Augenblick durch keine Gründe hätte stützen können! Das war nichts anderes als die Zurückweisung von Ansichten, die mit den eigenen nicht vereinbar schienen, der Ausdruck für den ‚Willen‘, ‚sich‘ zu behaupten. Auf der entsprechenden biologischen Seite war es die Reaktion auf einen Angriff, der den Bestand eines zentralen Hauptteilsystems bedrohte. Man braucht nur Versammlungen beizuwohnen, in denen neue Ideen verteidigt und bekämpft werden, um zu sehen, daß es sich dabei um einen wirklichen Kampf organischer Gebilde um ihre Existenz handelt. Mit welcher Fülle von unüberlegten, grundlosen, ja törichten Einwänden wird der Neuerer überschüttet, auch wenn er seinen Gedanken noch so gut begründet und nach allen Richtungen hin logisch und empirisch gesichert hat, überschüttet von Leuten, die vielleicht einst ebenso Kämpfer für ein Neues waren und nun blind ein anderes Neues zu unterdrücken suchen. Der Neuerer ist an und für sich der Feind, weil er fest gewordene zentrale Teilsysteme in ihrem Bestand bedroht. Diese Dinge sind weit besser vom Standpunkt der Biologie und biologischen Psychologie zu verstehen als vom rationalistischen, bloß logischen. Unser Seelenleben hat eben unmittelbar biologischen Charakter. Wenn wir das für gewöhnlich heute noch nicht sehen und fühlen, so liegt das nur daran, daß wir durch die unheilvolle Entwickelung, die das menschliche Denken auf Grund einer von Hause aus bestehenden Schwäche nehmen mußte (Petzoldt, Das Weltproblem, § 4), gewöhnt worden sind, das Seelenleben in prinzipiellem Gegensatz zur Natur zu denken. Je mehr wir aber die reinen Tatsachen sprechen lassen, je mehr wir uns hüten, dem wirklich beobachtenden psychologischen Geschehen sofort wieder die eigenartige Färbung eines in den Tatsachen gar nicht auffindbaren grundsätzlichen Gegensatzes zum physikalischen, im besonderen biologischen Geschehen zu geben, und je mehr wir es vermeiden, in den biologischen Vorgängen sofort den psychologischen heterogene ‚materielle‘ zu erblicken, um so mehr werden wir das Auge für die gemeinsamen Züge der beiden schärfen und, ohne in die Irrtümer idealistischer Verflüchtigungen zu verfallen, bei der Versenkung in die Tatsachen selbst die Kluft

Digitized by Google

schließen, die Vorurteil und Irrtum zwischen Natur und Geist aufgerissen haben.

18. Als ausschlaggebenden Grund für unsere Annahme von der engen Zusammengehörigkeit und Verwandtschaft des psychologischen und des biologischen Geschehens haben wir den Mangel eindeutiger Bestimmungsmittel innerhalb des seelischen Geschehens kennen gelernt. Soll sich nun aber diese Verwandtschaft bewähren, so müssen wir auch die Möglichkeit einsehen können, daß die Unbestimmbarkeit des psychologischen Geschehens durch psychologische Bestimmungsmittel sehr wohl mit der Bestimmtheit der ihm parallelen biologischen Vorgänge vereinbar ist. In der Tat läßt sich das unschwer einsehen.

Da sich die psychologischen Akte und Momente in keiner Weise eindeutig bestimmen, so können wir sie auch nur in funktionellem Zusammenhang mit solchen Momenten biologischen Geschehens denken, die ebenfalls gegenseitig nicht eindeutig abhängig sind. Solche voneinander relativ unabhängigen Vorgänge können aber nur spezifische Prozesse in relativ gegeneinander abgegrenzten Teilsystemen des Großhirns sein. Jedem solchen Gebilde spezifisch bestimmter Entwickelung und Struktur muß ein eigenartiger Vorgang, eine „spezifische Energie" (vgl. dazu Hering, Ueber die spezifischen Energien des Nervensystems. Lotos, Jahrbuch für Naturwissenschaft Bd. V 1884) zukommen, mit der es die ankommenden Reize beantwortet; und von dem etwa in dem einen solchen Teilsystem ablaufenden Prozeß, der mit seinen Ausläufern als Reiz auf ein zweites solches, mit ihm irgendwie verbundenes Teilsystem wirkt, kann offenbar der in diesem zweiten dadurch ausgelöste spezifische Vorgang — die in diesem zweiten ablaufende Vitalreihe — nicht eindeutig abhängig sein: weit mehr als durch den Reiz muß er vielmehr durch den besonderen Bau des Teilsystems in seiner Eigenart bestimmt werden. Jedes dieser Teilsysteme — das ergibt sich auch hier wieder — führt ein eigenes Leben, ist ein Individuum für sich, wenn auch in mehr oder weniger engem Verbande mit vielen anderen ähnlichen individuellen Systemen, verfügt über eine oder mehrere ihm besonders zukommende Verhaltungsweisen, d. h. vermag mit einem oder mehreren physikalisch-chemischen Prozessen den herantretenden Reizen zu begegnen, oder besser: zu den durch jene Reize in seinem eigenen Inneren bedingten physikalisch-chemischen Komponenten von sich aus weitere, durch die Reize also ausgelöste Komponenten hinzuzufügen, so daß der resultierende Gesamtprozeß im allgemeinen die Erhaltung oder Fortentwickelung des Systems bedeutet.

So können wir also aus der Eigenart des psychologischen Geschehens schließen, daß alle seine Momente von biologischen Auslösungsprozessen abhängig sein müssen. Das Fehlen des eindeutigen Zusammenhanges der seelischen Vorgänge untereinander zwingt uns eben, sie in engem Zusammenhang mit Hirnvorgängen zu denken und sie damit in die große Natur hineinzustellen, gestattet uns aber auch zugleich, das Walten dieser Natur an bisher unzugänglichen Stellen aufzudecken. In unseren seelischen Erlebnissen erleben wir die Natur, in ihnen belauschen wir sie, durch ihre enge Verbindung mit biologischem Geschehen ist „der Kern der Natur Menschen im Herzen". Alle schöpferische Tätigkeit des Menschen, namentlich aber der Wissenschaft, im besonderen der Naturwissenschaft, ist das Schaffen der Natur selbst. Diese Einsicht muß uns die mächtigste Hilfe für unseren weiteren Weg gewähren. Wir werden bei jeder Stellungnahme zu den grundsätzlichen Fragen, die wir zu treffen haben, auf die biologische Seite achten müssen.

19. In eindringlicher Weise hat Richard Avenarius in seiner „Kritik der reinen Erfahrung" (Leipzig 1888/90, 2. Aufl. 1907/08) das Gemeinsame psychologischer und biologischer Prozesse aufgedeckt. Er zeigte, daß beide in relativ abgeschlossenen Reihen verlaufen, in denen man deutlich ein Anfangsglied, mehr oder weniger Mittelglieder und ein Endglied unterscheiden kann. Bisher hatte man die Aufmerksamkeit immer auf das nur durch Schlaf, Ohnmacht und Tod unterbrochene Fließen der psychologischen Ereignisse gerichtet, auf jenen auf- und abwogenden Wechsel der Erlebnisse, in denen nicht Rast noch Ruh zu sein schien. Avenarius entdeckte in diesem abschnittslosen unabsehbaren Gebiet natürliche Grenzen und damit die wichtige Vorbedingung zur Auffindung der begrifflichen Gleichheit von psychologischem und biologischem Geschehen, ähnlich wie Newton die begriffliche Gleichheit der Mondbahn mit der des geschleuderten Steines fand.

An folgendem Beispiel können wir uns den Verlauf solcher Reihen verdeutlichen.

Mit Oersteds Entdeckung der Abweichung der Magnetnadel unter dem Einfluß eines elektrischen Stroms erhob sich für Ampère das Problem: nach welchem Gesetz findet das sonderbare Heraustreten der Nadel aus der Vertikalebene statt? Mit dieser Frage war ein Zustand der Unruhe gegeben, der unhaltbar war, der in sich nicht die Bedingungen für seine Dauer trug, der über sich selbst hinausdrängte nach einem Zustande der Lösung, der Aufhebung des Problems.

Digitized by Google

Nun folgten alle die Versuche, die den stromdurchflossenen Draht in den verschiedenen Hauptlagen über, unter, vor und hinter der Nadel usw. vorüberführten, ihre jeweilige Ablenkung feststellten und so zum sicheren Ueberblicken des ganzen Tatbestandes gelangen ließen. Das waren die Mittelglieder der Reihe, zu denen man auch noch die Entdeckung rechnen wird, die den Uebergang zur vollständigen Lösung des Problems brachte: daß hier rechts und links eine Rolle spielen. Den Abschluß der Reihe brachte dann die Parallelisierung der Stromrichtung mit der Richtung vom Fuß nach dem Kopf eines im Strom gedachten Schwimmers, der der Nadel zugewandten Leiterseite mit dem Gesicht und endlich der Ablenkungsrichtung der Nadel mit dem ausgestreckten linken Arm des Schwimmers. Damit war der Naturvorgang als eindeutig bestimmter begriffen und ein Zustand erreicht, der keine Bedingungen für die weitere Fortsetzung der Reihe mehr enthielt. Zwar schlossen sich für Ampère noch weitere Untersuchungen an, aber diese waren die Folge neuer Probleme, die während der Bearbeitung des ersten aufgetaucht waren. Ihr Verlauf zeigte im übrigen dasselbe Schema bis zum deutlich erkennbaren Schlußglied.

Und wie hier beim höchstentwickelten Denken, so ergab sich der gleiche Reihenverlauf auch im außerwissenschaftlichen Denken und im Denken des Kindes. Das Kind, das, um eine Tür zu öffnen, einen Stuhl herbeiholt, auf ihn klettert, die Klinke niederdrückt, den Stuhl zur Seite stellt und den Türflügel zurückschlägt, macht durchaus eine analoge Reihe durch. Und so lassen sich schließlich ohne Schwierigkeit alle seelischen Erlebnisse dem gleichen Begriff einer Reihe unterwerfen.

Avenarius aber bemerkte die Aehnlichkeit dieses Verhaltens mit rein biologischen Vorgängen, z. B. mit folgendem von Goltz angestellten Versuch. Goltz schreibt (Beiträge zur Lehre von den Funktionen der Nervenzentren des Frosches. Berlin 1869, S. 118 f.): „Ich nagle den Rumpf eines geköpften Frosches auf einem Brette in der Bauchlage fest. Auch die Arme werden auf der Unterlage unbeweglich fixiert. Hierauf nähe ich die Haut über der Achillessehne des rechten Beines zusammen mit der Achillessehne des linken Fußes. Wenn ich nunmehr den linken Fuß irgendwo auf dem Brette festnagle, so wird dadurch zugleich das mit ihm verbundene rechte Bein fixiert. Je nach der Stelle, an welcher ich den linken Fuß befestige, wird die Winkelstellung des rechten Hüftgelenkes und Kniegelenkes bestimmt werden. Ich nagelte nun den linken Fuß so fest, daß das rechte Bein folgende fixierte Lagerung erhielt. Die Achse des rechten Oberschenkels bildete mit der Mittellinie des Rumpfes einen Winkel von 90°. Oberschenkel und Unterschenkel waren im Kniegelenk so genähert, daß ein Winkel von 70° entstand. Auf solche Weise war das ganze Tier in der angegebenen Stellung unbeweglich gemacht, bis auf den rechten Fuß, welcher im Fußgelenk frei beweglich blieb. Jetzt pinselte ich auf die Haut der Kreuzgegend rechts von der Mittellinie etwas Essigsäure auf. Wenn ich dieselbe Stelle bei einem Tier mit ungefesselter Gliedmaße reize, so wird das Bein in Hüftgelenk und Kniegelenk stark gebeugt, und der Fuß erreicht durch Dorsalflexion im Fußgelenk leicht die geätzte Stelle. In unserem Falle sind Hüftgelenk und Kniegelenk in ungünstigen Winkelstellungen fixiert. Wenn das Tier, sagte ich mir, in dem ihm einzig freigelassenen Fußgelenk nur die Bewegung ausführt, welche es bei vollkommen freiem Gebrauch der Gliedmaße machen würde, so kann es nimmermehr die geätzte Stelle erreichen. Was geschieht aber? Der rechte Fuß wird in eine ungewöhnlich verstärkte Dorsalflexion gebracht, und da diese noch nicht zureicht, um die Zehenspitzen an den gereizten Punkt zu führen, so werden die Zehen in Hyperextension gebracht. Der Fuß, welcher bei ungefesseltem Bein unter sonst gleichen Bedingungen gerade bleibt, wird so stark gebogen, daß seine Dorsalfläche eine bedeutende Aushöhlung zeigt. Kurz, infolge der Fixierung der oberen Gelenke sehen wir als Ausgleichung eine ungewöhnliche zweckentsprechende Bewegung in allen Fuß- und Zehengelenken. Auf diese Weise gelangen die Spitzen der Zehen richtig bis zur geätzten Stelle, um dort unvollkommene Reibebewegungen auszuführen. . . .“

Also auch hier — bei fehlendem ‚Denkorgan‘ — ein ‚Problem‘, das nur unter starker Abweichung von den gewohnten Bewegungen gelöst werden kann. Es stellen sich neue Mittelglieder der Reihe ein, der enthauptete Frosch ‚erfindet‘ eine neue Bewegungskombination, die zum Ziele, zum Abschluß der Reihe führt.

Die Vorgänge in der Großhirnrinde, die unseren psychologischen Vorgängen parallel gehen, müssen also von derselben Art sein wie jener Vorgang im Rückenmark des enthaupteten Frosches, und die rein biologische Seite des gesamten psycho-biologischen Vorgangs kann mit seiner rein psychologischen Seite unter einen Begriff gebracht werden. Avenarius bezeichnet diesen als Vitalreihe. Wenn aber zwei verschiedene Vorgänge unter einen Begriff gebracht werden können, so sind sie, sogar in der Sprache der idealistischen und rationalistischen Philo-

Digitized by Google

sophie gesprochen, wesensgleich, also nicht mehr so heterogen, entgegengesetzt und divergent, wie sie denen erscheinen müssen, die die eben gezeigte Verknüpfung des biologischen mit dem psychologischen Gebiete für Materialismus erklären, wobei sie mit diesem Wort ungefähr den bedauernswertesten Tiefstand der Erkenntnis, ja eine beklagenswerte Verrohung des Denkens zu charakterisieren wünschen.

Der Raum gestattet uns nicht, auf Avenarius' Lehre von den Vitalreihen weiter einzugehen. Sie wird aber bei keinem ihren Eindruck verfehlen, der sich einmal näher mit ihr beschäftigt. Und je mehr wir uns in ihre Folgerungen vertiefen, um so mehr werden wir Brücken zwischen Leib und Seele finden, um so mehr werden uns Natur und Geist verschmelzen.

Nennen wir mit Avenarius das Anfangsglied einer Vitalreihe eine Vitaldifferenz, so können wir jetzt die Frage nach dem biologischen Ursprung der Naturwissenschaft dahin beantworten: er liegt in der Vitaldifferenz eines zentralen Teilsystems höchster Ordnung. Damit ist die Bewertung der Naturwissenschaft als eines höchsten Gutes der Menschheit begründet.

II. Die Aufgaben der Naturwissenschaft.

20. Die psychologische Wurzel der Naturwissenschaft lag in dem ursprünglichen ‚Erkenntnistrieb' des Menschen. Ihre psychologische Aufgabe wird es also sein, diesem Verlangen nach Wissen von den Dingen und Vorgängen der Natur zu entsprechen. Wie sie das erreicht, in welchen psychologischen Formen oder Werten es sich vollzieht, können wir aus ihren Ergebnissen ablesen.

Um es gleich von vornherein kurz zu bezeichnen: die Aufgabe der Naturwissenschaft ist die Aufstellung von Begriffen und Gesetzen der Naturtatsachen und deren systematische Ordnung und logische Verknüpfung zu Theorien. Was damit gemeint und was dadurch ausgeschlossen ist, das sollen die folgenden Darlegungen zeigen.

21. Die am weitesten entwickelte Naturwissenschaft, die damit zugleich in gewisser Hinsicht zum Vorbild ihrer Schwestern geworden ist, ist die Physik. Die relative Einfachheit ihres Tatsachengebietes erlaubte ihr in weitestem Umfange die Anwendung mathematischer Darstellung und damit den Ausdruck ihrer Ergebnisse in der klarsten und schärfsten Form. Daher enthalten schließlich die Gleichungssysteme der theoretischen Physik gewöhnlich alles das und nur das, worauf es der Naturwissenschaft den betreffenden Problemen gegenüber ankommt. In den biologischen Fächern liegt die Sache freilich nicht so einfach, aber für den an der Physik geschulten Blick kann es nicht zweifelhaft sein, daß die allgemeine Form der biologischen Forschungsergebnisse der der physikalischen nirgends widerspricht und auch nichts grundsätzlich Abweichendes enthält. Wir halten uns zunächst an die Physik.

Die mathematische Darstellung hat den großen Vorzug, schon von selbst alles auszuscheiden, was überflüssig ist. Sie verhält sich da ähnlich wie die Notenschrift des Musikers. Für die ästhetische Aufnahme und das musikalische Verständnis seiner fünften Symphonie ist es gleichgültig, was Beethoven bei der Komposition des Werkes neben den in der Schrift allein niedergelegten musikalischen Gedanken noch gedacht, daß er etwa das Eingangsmotiv dahin ‚erläutert' hat: „So klopft das Schicksal an die Pforte." Im Gegenteil, das Kunstwerk wird sich uns um so reiner erschließen, je mehr es uns gelingt, alle solche Programm- oder Postgrammgedanken zurückzudrängen und fernzuhalten: es müßte ein schwaches Kunstwerk sein, das derartige Stützen nötig hätte. So auch bei der Formelsprache der Physik. Was die Massen, Kräfte, Arbeiten, Temperaturen, Wärmemengen, Energien, Atomgewichte, Raum- und Zeitgrößen usw., die in den Gleichungen mit bestimmten durch genau definierte Meßverfahren gewonnenen oder doch gewinnbar gedachten Werten auftreten, für die Forscher, die jene Gleichungen fanden, außer dem tatsächlich Niedergeschriebenen und in der Rechnung und allen weiteren Kombinationen allein Verwendeten noch bedeutet haben mögen, das braucht uns, wenn wir den schließlichen Erkenntniswert und die Aufgabe der Naturwissenschaft feststellen wollen, nicht zu kümmern.

Der Wert jener Begriffe hängt für den praktischen, experimentellen Physiker schließlich doch nur davon ab, ob er mit ihnen etwas machen, ob er damit zu neuen Naturtatsachen, zum Nachweis neuer Zusammenhänge gelangen kann. Das wird ihm nur dann möglich sein, wenn sie ihm Maßstäbe und Zusammenhänge des Gemessenen bieten. Wohl mögen ihm auf dem Wege zu seinen Handgriffen und Versuchen auch Vorstellungen helfen, die nicht ohne weiteres in Sichtbares, Greifbares usw. umgesetzt werden können; wenn das aber schließlich überhaupt nicht möglich wäre, dann wären für seine experimentelle Forschertätigkeit jene Vorstellungen völlig überflüssig. Die Avogradosche Regel, die Anzahl der Gasmoleküle in der Volumeneinheit, die Masse einer Molekel, die durchschnittliche Geschwindigkeit derselben usw. würden praktisch wertlos sein, wenn sie

nicht gemessene Größen verknüpften und zu neuen Messungen führten, wenn sie nicht Arbeitshypothesen wären.

Und so auch für den Erkenntnistheoretiker. Er will Tatsachen überschauen, sinnlich Gegebenes, Erlebtes und immer Wiederkehrendes auffassen und mit ihm fertig werden, sich mit ihm ins Gleichgewicht, in ein endgültiges Verhältnis setzen. So weit ihm die Begriffe und Gleichungen des Physikers das leisten, sind sie ihm wertvoll. Er wird aber den Begriffen und Gleichungen den Vorzug einräumen, die es ohne Umschweife leisten, die unmittelbar sich den Tatsachen anschließen, das unmittelbar Beobachtete begrifflich darstellen; die also — mit Kirchhoffs Ausdruck — die Tatsachen „vollständig und auf die einfachste Weise" „beschreiben".

Es mag sein, daß der Kapellmeister, der Beethovens fünfte Symphonie einstudiert, durch jenes ‚Programm', das der Komponist selbst angedeutet hat, zu einer einheitlichen und charakteristischen Auffassung und Darstellung des Kunstwerkes gelangt, sehr fraglich bleibt es aber, ob es die beste sein wird, die nach der Partitur möglich wäre. Musikalisches muß mit musikalischen Gedanken, mit den eigensten Mitteln seines Gebietes selbst erfaßt und wiedergegeben werden: auf die Rhythmen und Melodien kommt es an, auf die Entwickelung der musikalischen Spannungen in den Disharmonien und ihrer Auflösungen in Harmonien, auf die dynamischen Momente, das Steigern und Dämpfen, auf die Klangfarben in ihren zahllosen Mischungen, auf die ähnliche Wiedergabe des Aehnlichen und überhaupt die Betonung der vereinheitlichenden Momente usw. Wer auf das alles achtet, hat genug mit der rein musikalischen Darstellung zu tun und gibt auch dem Hörer eine Fülle, daß es nicht nötig ist, noch nach außerhalb dieser musikalischen Motive Gelegenem zu schielen.

Noch ein anderes Bild. Wer sich der Betrachtung der Wolken vor dem blauen Himmelsgrund hingibt, kommt fast unwillkürlich dazu, in ihnen allerlei phantastische Tier- und Menschengestalten oder Berge, Bauwerke usw. zu sehen. Gewiß ist das reizvoll. Weit schöner aber, wenn wir unsere ganze Aufmerksamkeit auf die räumliche, dreidimensionale Gestalt jener Gebilde richten und sie nicht nur als flächenhaft, als Projektionen nehmen, sondern in ihrer ganzen körperlichen Fülle. Dann haben wir etwas Aehnliches wie beim Blick von hohen Standorten auf eine formenreiche Bergwelt. Hier würde die mythologische Interpretation, das Hineinsehen von allerlei poetischem Spuk den höchsten ästhetischen Genuß ebenfalls nur verkümmern: das Riesengebirge ist am schönsten ohne Rübezahl. Es ist eine ärmliche Schönheit, die uns die Romantik gewährt, die mit kleinlichen menschlichen Zusätzen die große, unendlich reiche Natur zu meistern sucht. Erst wer den Spuk verscheuchen gelernt hat, den falschen Zauber, der kann den wahren empfinden, den unvergänglichen. Nur der Romantiker bricht entseelt vor der enthüllten Schönheit und Wahrheit zusammen, seine jämmerliche naturfremde Phantasterei. Wer aber den Blick an der hellen Sonne der Wirklichkeit selbst geschult hat, der wird von dem entschleierten Sais-Bilde nicht mehr geblendet; der erträgt es nicht nur, der will nichts anderes mehr schauen.

Die Forderung, alle Vorgänge nur zu beschreiben, ihnen mit den Gedanken nur zu folgen, nichts ihnen unterzulegen, ist gleichbedeutend mit der Verwerfung aller metaphysischen Zusätze zur reinen Erfahrung. Die Metaphysik ist die Romantik in der Wissenschaft: sie hemmt und verschleiert den freien Blick. Um ihretwillen nahm ein Physiker wie Lord Kelvin die Maxwellsche Theorie nicht an: er glaubte, die elektromagnetischen Vorgänge müßten sich auf mechanische zurückführen lassen; die mechanischen sollten ihnen also untergeschoben werden. Und Helmholtz, Boltzmann und Hertz glaubten dasselbe. Erst als das trotz aller Bemühungen nicht gelang, gewöhnten sich die Physiker daran, die Maxwellschen Gleichungen einfach als unmittelbaren Ausdruck der Tatsachen zu nehmen, und damit wurde eine neue, außerordentlich fruchtbare Periode der theoretischen Physik eingeleitet; ähnlich wie vor 60 bis 70 Jahren, als man sich von dem Vorurteil befreite, die Wärme sei ein Stoff.

22. Wollen wir den dauernden Kern, der in den Begriffen und Gesetzen der Naturwissenschaft enthalten ist, rein herausschälen, so müssen wir uns in der Hauptsache von zwei Vorurteilen befreien, die ihren Ursprung im vorwissenschaftlichen und prähistorischen Denken des Menschen haben, von der Wissenschaft des Altertums ausgebildet, durch Descartes in der schärfsten Form dem neuzeitlichen Denken überliefert worden sind und die trotz allem, was zu ihrer Ueberwindung seit Jahrhunderten geschehen ist, im Denken der Gegenwart überhaupt und so auch besonders im naturwissenschaftlichen Denken noch immer eine große Rolle spielen. Sie sind von einer so ursprünglichen Kraft, daß, wenn man sie eine angeborene Schwäche des Denkens nennt, ihnen eigentlich unrecht tut; freilich sind fast alle menschlichen ‚Schwächen' nur allzu stark, eine von unserem biologischen Standpunkte wohlbegreifliche Tatsache. Wenn ich die beiden Vorurteile mit der

Digitized by Google

Descartesschen Bezeichnung als die der materiellen und der immateriellen Substanz bezeichne, so meint jeder gleich, er sei völlig frei von ihnen. Aber darin liegt eben ihre tückische Macht, daß sie, längst tot geglaubt, immer von neuem ihr Haupt erheben. So sind die Aetheratome, dann die Elektronen, wie sie gewöhnlich aufgefaßt werden, weiter in feinerer Weise die Träger der naturwissenschaftlichen Relationen, ferner das Absolute in irgendwelchen Formen (absoluter Raum, absolute Zeit) und endlich überhaupt das ‚Physische' Weiterbildungen der materiellen Substanz. Kräfte aber und Energien, Dominanten, Entelechien, psychische elementare Naturfaktoren und überhaupt das ‚Psychische' sind Abwandlungen der immateriellen Substanz. In sublimiertester Form tritt die letztere auf dem engeren philosophischen Gebiet auf, wo sie den logizistischen Bestrebungen — im Gegensatz zu den psychologistischen — zugrunde liegt.

23. Die Substanzvorstellungen haben eine zweifache Wurzel: die eine in dem Beharren eines Dinges im Gegensatz zu den Aenderungen, die man im Wechsel seiner Eigenschaften an ihm beobachtet; die andere in dem Gegensatz von wirklich und scheinbar.

‚Aendert sich' ein Ding, so treten an Stelle bisheriger Merkmale andere auf, die Mehrzahl der Merkmale aber bleibt im allgemeinen während jenes Wechsels dieselbe: ein Baum verliert seine Blätter und ‚bekommt' kahle Aeste; die Form ist im ganzen geblieben, die Härte des Holzes, die Farbe der Rinde, der Standort usw. sind noch dieselben. Doch kann auch das alles gelegentlich einzeln oder gruppenweise durch anderes ersetzt werden, ohne daß ‚der Baum' für den naiven Beurteiler aufhört, ‚derselbe Baum' zu bleiben. Indessen erfahren wir so an den Dingen nur relative Stabilität; das entschiedene Denken der alten Philosophen aber, das den Gegensatz bis an sein Ende denkt, macht daraus absolute Stabilität, teils für die einzelnen Dinge, teils für ihre Gesamtheit, die Welt. Wenn ‚sich' ‚etwas' ‚ändert', so muß also hiernach auch etwas absolut beharren. Dieses trotz aller Aenderungen absolut Beharrende ist eben die Substanz: für die Dinge der Natur die materielle Substanz, für die geistigen Vorgänge die immaterielle, die ‚Seele', das ‚Ich', das ‚Bewußtsein'.

Das Denken geht damit weiter, als es durch die Tatsachen genötigt ist. Um uns mit dem Gegensatz von Sein und Werden abzufinden, würde es genügen, ihn allgemein so festzustellen, wie wir ihn in allen einzelnen Fällen wirklich beobachten, also sein ‚Wesentliches' ‚begrifflich' zu charakterisieren und ihn damit eben zu „begreifen".

24. Beschreiben wir irgendein Ding, z. B. eine Münze, unter gewöhnlichen Umständen der Beobachtung und halten wir uns dabei nur streng an das Wahrgenommene, so sprechen wir von bestimmter Farbe, Glanz, Form, Größe, Härte, Klang, von den Gestalten der Prägung usw. Führen wir diese Beschreibung in allen Teilen so weit durch, daß wir als beschreibende Begriffe letzte, nicht weiter auflösbare Merkmale verwenden, so gelangen wir zu den analytischen ‚Elementen' des Dinges. Analytisch wollen wir sie nennen, um daran zu erinnern, daß sie auf dem Wege der Analyse gewonnen sind. Solche Elemente sind rot, hart, laut, bestimmte Töne, Geräusche, süß, kalt usw. Die Elemente der Chemie sind ebenfalls in solche ‚analytische Elemente' auflösbar, also für die Erkenntnistheorie noch keine ‚Elemente'. Wir wollen daher unsere analytischen Elemente auch als erkenntnistheoretische bezeichnen, wo wir uns besonders vor einer Verwechslung zu schützen haben werden.

Nachdrücklich muß schon hier davor gewarnt werden, diese erkenntnistheoretischen Elemente mit den ‚Empfindungen' oder ‚Sinnesempfindungen' der Psychologie zu verwechseln, überhaupt sie als etwas ‚Subjektives', ‚nur unserem Bewußtsein Gegebenes' zu betrachten, oder als etwas ‚Inneres', der ‚Innenwelt' Angehöriges, in der ‚Außenwelt' nicht Vorhandenes, womöglich gar als etwas ‚in unserem Inneren Zustandekommendes und von da in den Raum hinaus Projiziertes'. Von allen diesen Prädikaten weiß die sich genau an die Tatsachen haltende Beschreibung nichts. Es ist nicht wahr, daß — wie wir es noch immer in sehr guten Hand- und Lehrbüchern der Sinnesphysiologie lesen — daß die „Empfindungen" im Gehirn „zum Bewußtsein kommen". Erlebt jemand die Farbe eines Gegenstandes oder einen Ton innerhalb der Oberfläche seines Körpers? So gut ich den Gegenstand außerhalb des Raumes meines Körpers wahrnehme, genau so gut auch die Farben, die er zeigt. Und so sind alle analytischen oder erkenntnistheoretischen Elemente, soweit sie überhaupt räumlichen Charakter haben, da, wo wir sie bei vorurteilsloser Betrachtung vorfinden, bilden nach ihren räumlichen Seiten in ihrer Gesamtheit geradezu den jeweilig wahrgenommenen Raum. Die Erinnerungsbilder dieser Elementenverbände dagegen oder die ‚Vorstellungen' derselben sind niemals in diesem Elementenraum zu finden, sind vielmehr, in Beziehung auf ihn betrachtet, ganz und gar unräumlich, und zwar in doppeltem Sinne: sie sind nicht ausgedehnt und haben auch keinen Ort: die Vorstellungen der Dinge sind nirgends. Jeder hat oder erlebt

Digitized by Google

seine eigenen Vorstellungen, hat diese niemals mit einem anderen gemein; dagegen teilen wir die erkenntnistheoretischen Elemente sehr häufig mit anderen. Soweit die Vorstellungen räumlichen Charakter tragen, ist dieser Vorstellungsraum individuell, niemals wie der Elementenraum interindividuell. Und wie die Vorstellungen überhaupt in weitem Umfange die Dinge wiederholen, so wiederholt sich dabei auch in dem Verhältnis der vorgestellten Dinge zum Vorstellungsraum das der wahrgenommenen Dinge — oder der erkenntnistheoretischen Elementenverbände — zum Raum dieser Wahrnehmungen oder Elementenkomplexe. Aber man hat sich zu hüten, die wahrgenommenen Elementenverbände in den Vorstellungsraum und die vorgestellten in den Wahrnehmungsraum zu versetzen. An beiden Fehlern oder doch ihren Nachwirkungen kranken die meisten Weltanschauungen.

25. Der Gegensatz vom Sein und Werden, worin zu dem einen Teil die Substanzvorstellungen wurzeln, geht nun sowohl auf die Welt der wahrgenommenen Elementenkomplexe oder der ‚Sachen‘ wie auf die der Vorstellungen und der übrigen ‚Gedanken‘. Beschreiben wir aber für beide Fälle, was wir tatsächlich vorfinden, so begegnet uns niemals etwas absolut Beharrendes, absolut Unveränderliches. Alles ist im Fluß, aber — und das ist wichtig nicht außer acht zu lassen — bald sind diese Momente in schnellerer Veränderung begriffen, bald jene, so daß die einen den anderen gegenüber relativ als änderungslos erscheinen oder doch so betrachtet werden können. Solange man diesen Tatbestand im Auge behält und in Gedanken nicht über ihn hinaus geht, hat man keine Veranlassung, hinter dem wirklich Erlebten eine unerfahrbare Substanz anzunehmen. Kochsalz ‚enthält‘ nicht Chlor und Natrium, sondern unter den und den ganz bestimmten Umständen kann ich mit Hilfe von Kochsalz Chlor und Natrium gewinnen. Fester, flüssiger und dampfförmiger Schwefel soll immer derselbe ‚Schwefel‘, nur in drei verschiedenen ‚Formen‘ oder ‚Zuständen‘, ‚Aggregatzuständen‘ sein. Die nüchterne Beobachtung weiß davon nichts. Flüssig ist etwas ganz anderes als fest und dampfförmig, gelb sehr verschieden von braun, und wenn die ‚Masse‘ in allen drei Fällen gleich ist, so ist damit eben nur gesagt, daß dieses physikalische Merkmal während jener Aenderungen sich nicht mit geändert hat. Was das Denken so leicht dazu verführt, jenen ‚Formen‘ dieselbe chemische ‚Substanz‘ unterzuschieben, das ist vor allem die Möglichkeit, sie immer wieder rückgängig zu machen und immer von neuem zu gewinnen. Aehnlich steht es mit den geistigen Substanzen. Wenn wir den Bismarck von 1890 noch als ‚denselben‘ betrachten wie den von 1848, von 66 und 70, so legen wir nur mehr Gewicht auf die relativ weniger geänderten Momente seiner geistigen Persönlichkeit und auf die Leichtigkeit, immer wieder von dem Manne von 1890 zu dem von 1848, ja zu dem Kinde von 1815 in Gedanken zurückzukehren. Ganz ähnlich bei unserem eigenen ‚Ich‘. Die Kontinuität und Wiederholbarkeit dieses gedanklichen Prozesses hat etwas Aehnliches wie jene physikalischen und chemischen ‚Umwandlungen derselben Stoffe‘. Wäre die Umkehrbarkeit aller dieser Vorgänge ausgeschlossen, so gäbe der Gegensatz von Werden und Sein schon weit weniger Veranlassung zur Annahme unveränderlicher Substanzen.

26. Allerdings liegt noch mehr als in den Dingen selbst — im menschlichen Denken der Grund für solche Annahmen. Das Denken drängt immer nach letzten Stellungnahmen, nach Abschlüssen, d. h. nach Zuständen, die keine solchen Komponenten mehr enthalten, die über sich oder über den Zustand, dem sie angehören, nach weiteren Zuständen hinausweisen. Wir haben diese Tatsache schon (S. 63 ff.) kennen gelernt: jede Vitalreihe ist auf einen solchen abschließenden Zustand gerichtet. Wir können dafür auch sagen: im Denken und in den biologischen Vorgängen, denen es zuzuordnen ist, besteht eine Tendenz zur Stabilität. Es ist an anderer Stelle dargelegt worden, daß die mit diesem Ausdruck bezeichnete Tatsache eine ganz allgemeine, das geistige und das Naturgeschehen durchaus beherrschende ist (Petzoldt, Einführung in die Philos. der reinen Erfahrung, Bd. II, Leipzig 1904. Vgl. auch P. Jensen, Organische Zweckmäßigkeit, Entwickelung und Vererbung vom Standpunkte der Physiologie, Jena 1907). Im Denken findet sie im besonderen ihren Ausdruck darin, daß ein eingeschlagener Weg bis an sein natürliches Ziel verfolgt, daß, wie man es oft bezeichnet, ein Gegenstand ‚zu Ende gedacht‘ wird. Das findet oft unter Vernachlässigung weiter Tatsachengebiete statt oder auch geradezu unter Vergewaltigung von unbezweifelbaren Tatsachen. Wer die Geschichte der Wissenschaft und überhaupt der Geistesentwickelung aufmerksam betrachtet, wird reichliche und oft erschütternde Beispiele dafür finden. Und das Alltagsleben ist womöglich noch reicher daran. Die vorschnelle Verallgemeinerung von Sätzen und Begriffen, durch die man sich mit den darunter gebrachten Vorgängen und Dingen ins Gleichgewicht bringt, beweisen es zur Genüge.

Zu gewaltigen Höhepunkten und in eine Lage höchster Spannung führte dieser Zug des Denkens nach letzten Stellungen bei

Digitized by Google

Heraklit und Parmenides. Jener trieb den Begriff des Werdens, der rastlosen Veränderung auf die Spitze, dieser den des Seins, des änderungslosen Beharrens. Für Heraklit hat nichts die geringste Dauer; das geht so weit, daß man von keinem Ding bleibende Eigenschaften aussagen kann: der Honig ist für den Gelbsüchtigen bitter, das Meerwasser für die Fische heilsam, für den Menschen abscheulich; dasselbe kann zugleich gut und böse sein. Er ist damit der erste, der in die Relativität der Dinge eindringt; nur für die Relativität des Wechsels und der Veränderung selbst scheint er keinen Blick gehabt zu haben, sein Denken war eben ganz auf das πάντα ῥεῖ eingestellt. Im geraden Gegensatz zu ihm leugnete Parmenides die Wirklichkeit aller Veränderung: es könnte ja sonst überhaupt nichts sein; denn wenn das, was in dem einen Augenblick so und so ist, im nächsten das nicht mehr ist, dann ‚ist' und ‚war' es überhaupt nicht. Sein ist für ihn identisch mit dauernd sein, mit unverändert bleiben. Nun muß er freilich zugeben, daß die Erfahrung nirgends ein solches absolutes Unveränderliches aufweist. Das schreckt ihn aber nicht ab: die Erfahrung ist dann eben nur ein täuschender Schein, das wirkliche Sein liegt, den Sinnen unerkennbar, dahinter verborgen; nur das Denken kann zu ihm vordringen und sein Wesen enthüllen, es als ewig dasselbe, als das absolut Beharrende erkennen. Damit ist ein Höhepunkt der Entwickelung der Substanzvorstellung erreicht (Näheres über den entwickelungsgeschichtlich sehr bedeutungsvollen Gegensatz zwischen den beiden Denkern s. Petzoldt, Das Weltproblem). Die früheren Philosophen — Thales und seine Nachfolger — dachten weniger streng: die Substanz war der Aenderung zugänglich, nur war jede Aenderung umkehrbar, so daß die Substanz — bei Thales das Wasser, bei Anaximenes u. a. die Luft — sich immer wieder aus ihren Abänderungen bildete. Heraklit aber forderte grundsätzlich für die Substanz — das Feuer — die ununterbrochene Aenderung. In dieser Forderung ging er bis an den äußersten Punkt, ohne zu bemerken, daß er sich widersprach: wie konnte denn alles, wenn nichts Bestand hatte, Feuer ‚sein'? Er erkannte nicht, daß der Begriff der Aenderung, des Werdens logisch den der Aenderungslosigkeit des Seins voraussetzt. Verlangt man absolute Veränderung, dann muß man auch absolutes Beharren fordern. Keiner der beiden Begriffe kann sich ohne den anderen bilden, beide entstehen in Beziehung zueinander, sind korrelativ. Tötet man den einen, dann gräbt man auch dem anderen das Grab. Wir werden auf jenen Fundamentalfehler des Denkens, der zuletzt gegen den Satz des Widerspruchs verstößt und die unheilvolle Entwickelung der Philosophie zu einem sehr großen Teile verschuldet hat, noch zu sprechen kommen. Parmenides machte denselben logischen Fehler, nur daß er statt des Seins das Werden leugnete. Beide verallgemeinern also einen Begriff über alle Grenzen hinaus, ohne Rücksicht auf den logisch erforderlichen Gegenbegriff, ohne Beachtung der stets vorhandenen Korrelation der Begriffe. Und diese Verallgemeinerung ist eben ein einseitiger Fortgang des Denkens in einmal eingeschlagener Richtung, ein Fall jener allgemeinen Tendenz zur Stabilität.

Wenn trotzdem Heraklit der bedeutendere Kopf ist, so liegt das an seinem weiten empirischen Blick; er wendet sich in erster Linie den Tatsachen zu, während Parmenides' Ausgangspunkt rationalistisch ist. Doch vermag er schließlich dem einseitigen Fortgang des Denkens nicht zu widerstehen, und so wird sein absoluter Begriff des Werdens — latent schon bei ihm selbst (vgl. sein ‚Feuer'), ganz offen aber bei Parmenides — zur Bedingung der absolut beharrenden Substanz. Das aber veranlaßte Leukipp und Demokrit zu ihrer Lehre von den absolut unveränderlichen Atomen. Hier also ist die Wurzel der mechanischen Naturansicht. Ihr Hauptmotiv war der Parmenideische Gedanke: das eigentlich Existierende muß absolut unveränderlich sein, und dieses Motiv besteht für die Anhänger der mechanischen Naturansicht bis auf den heutigen Tag, wenn sie es auch nicht wissen.

27. Wir haben somit Abweichen des Denkens von der Erfahrung und einseitigen Fortgang desselben in der eingeschlagenen Richtung als Ursachen für die Entstehung der Substanzvorstellung kennengelernt. Dazu kommt nun als weiteres Moment das (s. §§ 23 und 26) schon Angeführte des Gegensatzes von Sein und Schein, von Wirklichkeit und Sinnenschein. Auch dieser Gegensatz wird von Heraklit und Parmenides aufs schärfste herausgearbeitet. Für beide sind die Sinne Betrüger, für Heraklit, weil sie Beharrendes vortäuschen, für Parmenides, weil Sich-änderndes. Damit wird im Gegensatz zur sinnlichen Erfahrung als eigentliche Quelle der Erkenntnis die Vernunft betrachtet, das reine, durch die Sinneseindrücke nicht getrübte Denken. Wohin aber diese Verachtung der Erfahrung führt, dafür sind die schneidend entgegengesetzten Lehren der beiden hervorragenden Denker ein klassisches Zeugnis: in die Bodenlosigkeit und Willkürlichkeit der Metaphysik. Man kann zu jeder metaphysischen Lehre mit gleichem Recht die gerade entgegengesetzte aufstellen. Sie kann ja durch keine Erfahrung widerlegt werden, weil sie unabhängig von ihr und unter Umständen im geraden Gegensatz zu

Digitized by Google

ihr behauptet werden kann. Nur wenn wir auch in unseren abstraktesten Begriffen noch enge Fühlung mit der Erfahrung, mit den Tatsachen der sinnlichen Wahrnehmung behalten, dürfen wir hoffen, daß jene Begriffe haltbar oder wenigstens hinreichende Annäherungen an haltbare sein möchten. Es gibt keinen anderen letzten Richter für irgendwelche Theorien als die Welt der wahrnehmbaren physikalischen und psychologischen Tatsachen. Auf diesem Boden wurde auch damals der Widerstreit zwischen Heraklit und Parmenides zu lösen versucht. In dem genialen Philosophen-Geiste des jungen Protagoras trafen die metaphysischen Theorien der beiden Autoritäten ersten Ranges hart aufeinander, und alsbald leuchtete ihm der erlösende Gedanke auf: beide irren, weil sie die Sinne zu Betrügern machen; und der Entschluß kam ihm: sehen wir zu, wieweit wir kommen, wenn wir die Lehre vom Sinnenschein fallen lassen; vertraue nur dem, was du deutlich und unbefangen wahrnimmst, es ist kein Trug, es ist Wahrheit.

28. Wir können hier nicht untersuchen, warum sich dieser Gedanke damals nicht durchgesetzt hat. Wir müssen nur feststellen, daß die Substanzlehren siegten. Die Platonisch-Aristotelische Philosophie entwickelte vor allem den Begriff der geistigen Substanz, die Atomisten aber bildeten in erster Linie den Gedanken der materiellen Substanz aus und damit eine besondere Seite der Lehre vom Sinnenschein: die Farben, Töne usw. wurden den räumlichen Eigenschaften der Dinge gegenüber zu Eigenschaften zweiten Ranges hinabgedrückt. Die mittelalterliche Philosophie setzte diesen Prozeß fort und in Descartes erreichte er seinen Höhepunkt (s. § 22). Scheinbar scharf und treffend werden die beiden Substanzen charakterisiert als die ausgedehnte und die denkende. Je unvermittelter sie aber einander gegenübertreten, um so empfindlicher macht sich das Problem ihrer Verknüpfung geltend, und um so mehr suchen alle nach Einheit verlangenden Geister nach Wegen, über den Dualismus hinwegzukommen. Die Sehnsucht nach einheitlicher Auffassung des Wirklichen ist wieder eine Aeußerung jener Tendenz zur Stabilität: erst wenn die Wirklichkeit auf ein Prinzip zurückgeführt wäre, könnte das Denken zur Ruhe gelangen; die Zwei gestattet noch einen Fortschritt zu denken, eben nach der Eins hin; die Eins wäre eine unüberschreitbare, natürliche Grenze. So stehen am Eingang des neuzeitlichen Denkens die beiden Fragen nach dem Verhältnis von Leib und Seele und nach der Möglichkeit der Zurückführung von Materie und Geist auf Eines.

Nun beginnt eine Entwickelung, die für die heutige Naturwissenschaft von höchstem Interesse, von unseren Naturforschern leider aber nur wenig gekannt ist: die Rückbildung der Substanzbegriffe. Sie beansprucht die größte Anteilnahme der Gegenwart, weil es sich da zuerst um die prinzipielle Ueberwindung der mechanischen Naturansicht handelt — die Leistung Berkeleys, die mit Gründen vollbracht wurde, denen sich auch heute noch kein denkender Kopf entziehen kann; sie war von durchschlagendem Erfolg begleitet, wurde nie widerlegt oder rückgängig gemacht und ist eine der wenigen Stellungen, die von den Erkenntnistheoretikern der verschiedensten Standpunkte gehalten wird, beinahe der einzige Punkt, in dem die Philosophen einig sind.

Berkeleys Auftreten ging eine bedeutende Entwickelung der mechanischen Naturansicht vorher. Descartes selbst hatte sie stark gefördert. Daß er es nicht auf Grund atomistischer Vorstellungen, sondern einer eigenartigen Wirbeltheorie tat, ist dabei nebensächlich. Von großer Bedeutung aber war es, daß er Pflanzen und Tiere bis hinauf zu den höchsten — nur den Menschen nahm er aus — als bloße Mechanismen begreifen lernte. Lag darin auch eine Uebertreibung, weil er die Tiere damit vom Psychologischen ausschloß und scharf vom Menschen trennte, so war es doch methodisch ein Schritt von großer Wichtigkeit: die Stellung der Aufgabe, das Lebendige physikalisch-chemisch zu analysieren, ohne ‚psychische Kräfte' ihr unklares Spiel treiben zu lassen; die Aristotelische Lebenskraft — Entelechie — war damit beseitigt.

Weiter war die Mechanik durch Newton zusammengefaßt und zu einem glanz- und verheißungsvollen Abschluß gebracht worden. Das Wichtigste aber zur Vorbereitung des Berkeleyschen Gedankens ist gewesen, daß Locke noch einmal der alten Theorie vom Sein und Schein einen scharfen Ausdruck verlieh. Er schied die Eigenschaften der räumlichen Dinge in primäre und sekundäre Qualitäten. Nur die ersteren kommen den Dingen wirklich zu, die letzteren werden ihnen von uns bei der sinnlichen Wahrnehmung auf Grund gewisser primärer Eigenschaften beigelegt. Jene bestehen in der Ausdehnung, Solidität, Gestalt, Bewegung oder Ruhe und Anzahl, diese in den Farben, Tönen, Gerüchen, Geschmacksempfindungen usw. Nimmt man dazu noch die in jenen wirklichen Dingen sitzenden Kräfte, die bewegend auf andere Dinge und auch auf unsere Sinnesorgane wirken — womit sie uns eben jene Farben-, Ton- usw. Empfindungen erwecken, die wir dann den Dingen beilegen —, so hat man damit im wesentlichen die auch noch heute in weiten und mächtigen naturwissenschaftlichen Kreisen verbreitete

Digitized by Google

Weltanschauung der mechanischen Naturansicht in ihrem Kernpunkt, wie sie bereits Locke lehrte und scharf kennzeichnete. Das ist die Anschauung, die Du Bois Reymond zur Aufstellung seiner bekannten Welträtsel und zu seinem berühmt gewordenen Ignorabimus veranlaßte, und die Anschauung, die heute wieder wie damals das große psychologische Problem hervortreibt, die Frage: in welchem Verhältnis stehen denn nun jene sekundären Werte, die Sinnesempfindungen und die Vorstellungen usw., zu den sie wenigstens zum Teil veranlassenden primären Eigenschaften der Dinge? Aber es ist auch die Anschauung, die verhältnismäßig nur wenig abgeändert zu werden braucht, um sehr vorgeschrittene moderne naturwissenschaftliche Theorien vor die gleiche dringende Frage zu stellen. Denn mag man auf dem Standpunkt der modernen physikalischen Relativitätstheorie auch glauben, weit über die alte mechanische Naturansicht hinaus zu sein — in dem Punkte, auf den es hier ankommt und der auch die Naturwissenschaft aufs innigste angeht, ist man es nicht. Auch jene gewiß bewunderns-werten und einen großen Fortschritt bedeutenden, auch in anderer Hinsicht erkenntnistheoretisch sehr wertvollen neuen physikalischen Lehren suchen noch keinerlei Verhältnis zu der psychologischen Kardinalfrage zu gewinnen; vielmehr halten sie an gewissen absoluten physikalischen Werten fest, d. h. an Resten der Substanzvorstellung, und vermögen sich noch nicht rückhaltlos auf den Boden des Relativitätsprinzips zu stellen, dem sie doch ihr Dasein verdanken. Wohl sind ihre Schöpfer allem Anschein nach mit großem Erfolg bestrebt, die Fülle der physikalischen Tatsachen in ein geschlossenes System zu bringen; aber sie kümmern sich nicht darum, ob und wie diese Theorie mit außerphysikalischen Tatsachen, insbesondere mit den psychologischen vereinbar ist. Daraus kann ihnen so lange kein Vorwurf gemacht werden, wie sie sich keine andere Aufgabe stellen, als eben nur die physikalischen Tatsachen alle untereinander zu verknüpfen. Sowie sie aber — und daß sie es tun, ist ja nur im Interesse des wissenschaftlichen Fortschritts gelegen — über ihr Fachgebiet hinausblicken und über Theorien ein Urteil fällen, die nicht nur die physikalischen, sondern zugleich auch die psychologischen Tatsachen zu umfassen suchen, dann müssen sie, wenn sie auch hier wissenschaftlich ernst genommen werden wollen, die gleichen Forderungen erfüllen, die sie selbst innerhalb ihres Gebietes anerkennen und stellen: nicht eher zu urteilen, als bis sie den erforschten Tatsachenbestand und die betreffenden Lehren kennen gelernt und verstanden haben. Es ist ein sehr gewagtes Ding, von einem bestimmt umgrenzten engeren Tatsachengebiet aus über ein umfassenderes zu verfügen, ehe man es genau geprüft hat. Die Geschichte der physikalischen Theorien lehrt das eindringlich genug. Newtons Emanationslehre fiel, weil sie gegenüber den Tatsachen der Interferenz und Polarisation versagte, Huygens' Undulationstheorie wurde trotz der bedeutenden Entwickelung, die sie nahm, aufgegeben, weil sie nur für das engere optische Gebiet berechnet war und den umfassenderen elektromagnetischen Erfahrungen nicht genügte. Die Maxwellsche Theorie wieder mußte der Lorentzschen weichen, weil sie nicht mit Rücksicht auf die elektrischen Vorgänge in Körpern, die sich mit großen Geschwindigkeiten bewegen, entwickelt worden war. Und die Elektronentheorie endlich scheint jetzt der Relativitätstheorie das Feld räumen zu müssen, weil sie den Umstand nicht beachtet hat, daß wir von Bewegung eines Körpers immer nur in Beziehung auf einen anderen Körper sprechen können, von dessen Bewegungszustand wir absehen; daß es ebenso Zeitlängen nur in Beziehung auf eine Uhr geben kann, daß aber zuletzt jeder Körper als Bezugssystem jedem anderen und jede Uhr schließlich jeder anderen, kurz jedes Raum-Zeit-System jedem anderen gleichberechtigt ist. Hat nun aber etwa die Relativitätstheorie schon alle Tatsachen berücksichtigt? Kennen ihre Vertreter die schwerwiegenden Gründe, die gegen den einen ihrer Hauptsätze sprechen, daß die Lichtgeschwindigkeit eine absolute Größe sei? Wollte man aber einwenden, daß Physik mit Psychologie nichts zu tun habe, dann müßten wir weiter fragen, wo denn die Urkunden sind, auf Grund deren man eine solche Grenzbestimmung zwischen den beiden Gebieten vornehme. Warum treiben wir denn Physik? In erster Linie doch um der Erkenntnis willen, um der Erkenntnis der Natur willen. Wo aber ist die Grenze der Natur? Wo also die Grenze der Tatsachenbereiche, die bei Aufstellung unserer Theorien berücksichtigt werden müssen? Wo ist die Grenze des Relativitätsprinzips? Welche Gebiete der Erkenntnis unterliegen ihm etwa nicht? Muß nicht jemand, der in seiner Theorie Absolutes und Relatives aufstellt, sich auch darum kümmern, grundsätzlich und allgemein zwischen beiden zu unterscheiden?

Es ist somit auch für die modernsten naturwissenschaftlichen Standpunkte Anlaß genug, Anschluß an jene gewaltige Geistesbewegung zu suchen, die Schritt um Schritt die Herrschaft des Absoluten untergrub. Sie hub mit der Vernichtung der Annahme der materiellen Substanz durch Berkeley an. Daran schloß sich die kritische Ueberwindung auch der immateriellen Substanz sowohl als

Digitized by Google

Kraft wie als Seele durch Hume, und hieran wieder reihte sich — nach einer mehr als hundertjährigen Pause — die Durchführung jener kritischen Errungenschaften durch die Gebiete der Physik und der Psychologie und die Herausarbeitung eines völlig von allen Substanzvorstellungen befreiten Weltbildes, vor allen das Lebenswerk von Ernst Mach und Richard Avenarius.

Jedem Naturforscher und für Naturwissenschaft Interessierten ist aufs dringendste zu raten, Berkeleys „Drei Dialoge zwischen Hylas und Philonous" und den ersten Band von Humes „Traktat über die menschliche Natur" (Treatise, nicht Enquiry ist in erster Linie zu empfehlen) zu lesen. Dadurch wird er sich für das volle Verständnis des modernen relativistischen Positivismus, der in innigster Berührung mit der Naturwissenschaft steht, am besten vorbereiten.

29. Berkeley zeigt, daß, wenn Farben, Töne usw. bloß geistiger Natur sind, nur im Geiste existieren, daß man dann das gleiche auch von den primären Qualitäten annehmen muß. Denn die primären Qualitäten werden in Wirklichkeit niemals anders als in engster, unauflöslicher Verknüpfung mit jenen sekundären angetroffen. Eine Gestalt nehmen wir durch das Auge nie anders als mit Farben verbunden wahr, und Farben treten nie ohne irgendeine geometrische Gestalt auf. Dazu tritt diese Verbindung nicht nur in der Erfahrung ohne Ausnahme auf, sondern wir sind gar nicht imstande, es uns anders zu denken. Tasten wir aber etwa im Dunkeln oder mit geschlossenen Augen einen Körper ab, so sind wieder mit den Wahrnehmungen der Gestalt sekundäre Qualitäten wie hart, rauh, warm usw. unabtrennbar verknüpft, und auch hier vermögen wir uns das nicht anders zu denken. Und so ist es durchgängig. Wir können primäre und sekundäre Qualitäten nur durch Abstraktion trennen, durch die aber niemals eine gesonderte Vorstellung der beiden Arten von Qualitäten ermöglicht wird, die vielmehr im Gegensatz zur Vorstellung nur begrifflichen, unanschaulichen, nichtsinnlichen Charakter hat. Betrachten wir nur noch die für die Anhänger der mechanischen Naturansicht primäre Eigenschaft der Solidität, Festigkeit, Undurchdringlichkeit der festen Körper. Wir nehmen sie wahr durch Tasteindrücke und Druck- und Anstrengungsempfindungen in Gelenken und Muskeln, also durch sekundäre Qualitäten. Denken wir diese fort, so bleibt von der Undurchdringlichkeit der Körper nur noch übrig, daß weder das Auge noch der Tastsinn eine Verschiebung des einen Körpers in den anderen hinein ohne Gestaltänderung der Körper wahrnimmt, also eine Eigenschaft der Körper, die als Aufrechterhaltung ihrer Gestalt wieder nur zusammen mit den sekundären Qualitäten der mit der Gestalt verknüpften Farben, Tast-, Temperatur- usw. Empfindungen vorkommt. Somit kann auch die Solidität und Undurchdringlichkeit von festen Körpern nicht von sekundären Eigenschaften getrennt werden.

Daher müssen primäre und sekundäre Qualitäten auf eine Stufe gestellt, der prinzipielle Unterschied zwischen ihnen muß aufgehoben werden. Und das heißt wieder: der Gegensatz von Wirklichkeit und Erscheinung, von Sein und Sinnenschein hat keine Berechtigung; die primären Qualitäten stehen in ihrem Seinswert nicht um das mindeste höher als die sekundären und diese nicht um das geringste tiefer als jene. Zwischen beiden muß vollständige Gleichberechtigung herrschen. Die Erfahrung zeigt nicht die schwächste Spur von einer Welt qualitätsloser Atome, deren Tätigkeit erst das Auftreten von Empfindungen zuzuschreiben wäre. Die mechanische Naturansicht hat keinerlei erkenntnistheoretische Berechtigung, sie ist günstigstenfalls nur eine Arbeitshypothese und ein vorläufiges Hilfsmittel der Darstellung der Vorgänge.

30. Hier droht nun aber eine große Gefahr, die in der geschichtlichen Weiterentwickelung dieser Gedanken leider nicht vermieden worden ist und zu jener mehr als hundertjährigen Pause geführt hat, von der vorhin (s. § 28) die Rede war: die Gefahr, den Gegensatz zwischen den primären und den sekundären Qualitäten zugunsten der einen der beiden Gruppen aufzuheben. Von vornherein liegen da zwei Möglichkeiten vor: entweder sucht man alle gegebenen Qualitäten als von materieller Natur zu begreifen oder als von immaterieller. Die erste ist kaum ernstlich in Frage gekommen: der konsequente Materialismus hat vielleicht nur in einer vorübergehenden Phase des Hobbesschen Denkens Verwirklichung gefunden. Dagegen ist die zweite zu Macht und Herrschaft gelangt und ein nur sehr schwer zu überwindendes Hindernis für den Fortschritt der Erkenntnis geworden. Schon seit Platon neigt das philosophische Denken zum Idealismus, und auch Descartes gibt der immateriellen Substanz wenigstens theoretisch das Uebergewicht. Bei Berkeley aber wird sie zur alleinigen. Und Hume, den Berkeleys Gründe für die Aufrechterhaltung einer geistigen Substanz nicht überzeugen und der den Substanzbegriff überhaupt als völlig überflüssig erweist, vermag sich trotzdem nicht gänzlich von ihm zu befreien: ohne es zu wollen und ohne es zu bemerken, vertritt er noch immer den Primat der geistigen Substanz. Das nicht weiter Zurückführbare, zuletzt Gegebene sind ihm Empfindungen (impressions, Eindrücke) und Vorstellungen

Digitized by Google

(ideas). Das ist auch im Grunde noch heute die herrschende Ansicht. Man drückt es nur ein wenig anders aus: das unmittelbar Gegebene sind Bewußtseinserscheinungen, die Welt ist im Grunde psychischer Natur, das Physische ist nur ein Sonderfall des Psychischen.

31. Hierin ist nun ein schwerer und verhängnisvoller logischer Fehler enthalten. Bezeichnet man nämlich alles, wovon man weiß, im letzten Grunde als Psychisches, so kann man nicht mehr angeben, was denn nun das Kennzeichnende dieser Bezeichnung sei. Der Begriff ‚psychisch‘ ist ursprünglich im Gegensatz zu ‚physisch‘ entstanden und hat in dieser Gegenüberstellung seinen Sinn erhalten. Genau so ‚bewußt‘ im Gegensatz und in Korrelation zu ‚unbewußt‘, ‚Geist‘ in Korrelation zu ‚Körper‘, zu ‚Materie‘, überhaupt zu etwas, was man eben vom Begriff ‚Geist‘ ausschloß, zu einem ‚Nicht-Geistigen‘. Wenn man nun aber erkennt, daß es ein Irrtum war, etwas Physisches oder Materielles oder Körperliches oder Nicht-Geistiges anzunehmen, wie kann man da glauben, noch etwas Kennzeichnendes, Charakteristisches von dem Gegebenen auszusagen, wenn man es Psychisches, Immaterielles, Geistiges nennt? Ein Begriff, der in Korrelation zu einem anderen steht und in dieser Korrelation zu ihm entstanden ist, kann nicht einseitig aufgehoben werden: mit ihm zugleich muß auch der korrelative Begriff, sein Gegenbegriff, fallen. Hebt man den Begriff ‚Physisches‘ auf, so kann man ja auf gar nichts mehr hinweisen, was im Gegensatz zu ihm und doch eben nur in diesem Gegensatz ‚Psychisches‘ war, kann also den Begriff des ‚Psychischen‘ gar nicht mehr abgrenzen, definieren; er wird zu einer bloßen Bezeichnung ohne Sinn, zu einem historischen Ueberlebsel, das eben nur noch historisch zu verstehen ist. Als man sich mit der Tatsache der Kugelgestalt der Erde und des Vorhandenseins von Gegenfüßlern abfinden mußte, da war man genötigt, den Begriff ‚unten‘ auf den der Richtung nach dem Mittelpunkt der Erde einzuschränken und ihn vom Raumbegriff loszutrennen. Im physikalischen Raum gab es also kein ‚unten‘ mehr. Damit war aber für ihn auch zugleich der Begriff ‚oben‘ aufgehoben. Den Begriff ‚psychisch‘ beibehalten, nachdem der Begriff ‚physisch‘ beseitigt ist, bedeutet aber das gleiche, wie wenn man in jenem Fall den Begriff ‚oben‘ hätte beibehalten wollen. Zuletzt sind alle Begriffe korrelativ, jeder hat schließlich seinen Sinn nur im Gegenüber zu wenigstens noch einem Begriff.

Werden die Begriffe ‚psychisch‘, ‚Erscheinung‘, ‚Bewußtseinsinhalt‘ so verallgemeinert, daß sie nun das mit umfassen, was ihnen früher gegenüberstand, so werden damit die Sätze der Identität und des Widerspruchs verletzt. ‚Erscheinung‘ — das hat Kant gelegentlich eingesehen, nur nicht immer festgehalten — hat ihren Sinn nur im Gegensatz zum ‚Ding an sich‘. Läßt man nun den letzteren Begriff fallen, wie viele Neu-Kantianer, ohne doch den Begriff der ‚Erscheinung‘ ausdrücklich neu zu definieren — was eben freilich logisch unmöglich wäre — so fehlt man gegen die erste logische Forderung: wenn du zu haltbaren Ergebnissen kommen willst, so halte während deiner Untersuchung an den Begriffen fest, mit denen du in sie eintrittst, oder erweitere ihre Definition ausdrücklich, sowie du die alte verläßt; sonst kannst du in jedem Augenblick in Widersprüche mit deinen früheren Aufstellungen verfallen, die ja nur für die engeren Begriffe gelten. Eine solche Begriffserweiterung nimmt z. B. die Mathematik mit dem Zahlbegriff ausdrücklich jedesmal vor, wo sie durch die Operationen der Substraktion, der Division, der Radizierung auf Fälle stößt, die unter den alten Begriff nicht mehr passen, und jedesmal untersucht sie und setzt ausdrücklich fest, wieweit die früheren Operationen auf die erweiterten Begriffe angewendet werden dürfen. Von dieser Strenge des Verfahrens dürfen sich die Philosophie und die Naturwissenschaft nicht befreien. Ihre Hauptirrtümer sind nur aus jener Nichtbeachtung von Begriffsänderungen entstanden.

Aus alledem folgt, daß man die Welt, das Ganze, die Gesamtheit des Gegebenen nicht unter einen einzigen Begriff bringen kann, daß es einen Begriffs-Monismus nicht gibt. Denn der Welt als Ganzes steht eben nichts mehr gegenüber, im Gegensatz zu dem ihre Eigenart begrifflich charakterisiert werden könnte. Somit ist die Frage nach dem Kern oder dem Wesen der Welt unlogisch gestellt und als Problem noch weniger möglich als die Frage nach der Quadratur des Zirkels und dem perpetuum mobile. Auf die Frage, was die Welt ist und was aus ihr wird, kann es keine Antwort geben. Die Welt als Ganzes ist nicht Natur noch Geist, nicht bewußt noch unbewußt, nicht lebendig noch tot, nicht materiell noch immateriell; als ganze hat sie keine Masse, keine Energie, kein Potential, keine Temperatur und stirbt auch nicht den Wärmetod. Alle solche Aussagen gelten nur von Teilen oder Seiten der Welt und nur in korrelativer Beziehung zu anderen Teilen und Seiten.

Wir werden auf weitere Folgerungen aus dem gewonnenen Standpunkt später zu sprechen kommen. Jetzt wollen wir der wichtigen Aufhebung des Gegensatzes von ‚scheinbar‘ und ‚wirklich‘ und damit der

Digitized by Google

Aufhellung des Relativitätsprinzips, d. h. der Korrelativität der Begriffe, noch weiter nachgehen.

32. Ein Gebiet, auf dem man sich vortrefflich über das Sinnlose des Gegensatzes von Sein und sinnlichem Schein aufklären kann, ist das der Bewegung der Himmelskörper. Hier läßt sich handgreiflich zeigen, daß die Bewegung der Sonne um die Erde in 24 Stunden nicht Schein, sondern Wirklichkeit ist, genau so unbezweifelbare Wirklichkeit wie die der Bewegung eines Automobils in der Straße einer Stadt. Denken wir uns ein solches Fahrzeug auf einer Straße, die längs des Aequators um die Erde herumführt (dieses pädagogisch vortreffliche Beispiel bei Hofmann, Bewegung und Trägheit, Wien 1904), zu einer Zeit, wo die Sonne im Zenit steht, seine Fahrt von Osten nach Westen beginnen und sich so schnell bewegen, daß es in 24 Stunden den ganzen Aequator durchläuft, so liegt in diesen Annahmen nichts, was dieser Bewegung des Autos, gegenüber einer Bewegung desselben auf irgend einer sonstigen Straße mit irgendwelcher anderen Geschwindigkeit, den Charakter des ‚Scheinbaren‘ verleihen könnte. Hat das Fahrzeug aber immer die Sonne über sich, so ist das genau so gut, als wäre dieselbe mit ihm fest verbunden. Also ist auch die 24 stündliche Bewegung der Sonne um die Erde herum wirklich, oder man müßte nun mit einem Male jene Bewegung des Autos für scheinbar erklären. Das könnte man aber nur, wenn man jede Bewegung überhaupt für Schein halten wollte. Wäre aber alle Bewegung scheinbar, so hätte dieser Begriff keinen Sinn mehr, weil er keinem Gegenbegriff mehr gegenüberstünde: man könnte ja auf keinen einzigen Fall wirklicher Bewegung hinweisen, im Gegensatz zu dem alle andere Bewegung nur Sinnestäuschung wäre. Eine Bewegung ist also nicht ‚wirklich‘ im Gegensatz zu einer, die ‚Sinnestäuschung‘ wäre, sondern nur zu einer, die etwa geträumt oder nur vorgestellt wird.

Wenn wir somit die tägliche Bewegung der Sonne um die Erde für wirklich erklären müssen, so folgt daraus nun nicht etwa, daß die tägliche Bewegung der Erde um ihre Achse unwirklich wäre. Diese ist vielmehr genau so wirklich und zu derselben Zeit wirklich wie jene. Das ist kein Widerspruch. Denn wenn wir die Erde um ihre Achse gedreht denken, so verlegen wir stillschweigend den Punkt, von dem aus wir uns den Vorgang beobachtend denken, außerhalb der Erde, etwa auf die Sonne. Auch dürfen wir jetzt wieder unser Auto mit der Sonne in starrer Verbindung und nun die Erde sich von Westen nach Osten unter dem Auto in 24 Stunden einmal um ihre Achse drehend denken. Ein Widerspruch liegt da nicht vor, weil wir jetzt denselben Vorgang nur anders deuten, von einem anderen Punkte aus beschreiben — denselben Vorgang, denn die einzige vorliegende Tatsache ist nur die der Drehung von Sonne und Erde gegeneinander, das Wachsen des Winkels zwischen unserem Horizont und der Verbindungslinie unseres Standortes mit dem Mittelpunkt der Sonnenscheibe. Diese Tatsache kann aber stets in verschiedener Weise aufgefaßt werden, da der jeweilig wahrgenommene größere Winkel auf verschiedene Weise mit beliebig herausgegriffenen vorhergehenden kleineren Winkeln verglichen werden kann — sogar auf unendlich verschiedene Weisen: man kann sich den einen Schenkel festgehalten denken und den anderen dagegen bewegt, aber auch umgekehrt, oder kann auf unendlich verschiedene Weisen beide Schenkel gegen ihre früheren Lagen gedreht vorstellen. Auch hier liegt eine unaufhebbare Korrelation von Begriffen vor: wir können Bewegung nicht ohne Ruhe denken, ein Bewegtes nicht ohne ein gleichzeitig Ruhendes. Das jeweils als ruhend Betrachtete — genauer dasjenige, von dessen Bewegungszustand dem anderen oder irgendwelchem Dritten gegenüber wir absehen — kann aber stets in mannigfaltiger Weise ausgewählt werden. Der vorwissenschaftliche, naive Mensch betrachtet seinen Horizont als fest; wer aber die Relativität aller Bewegung durchschaut hat, dem gelingt es leicht, etwa bei Sonnenaufgang den Horizont, der Sonne gegenüber, als sinkend vorzustellen oder besser so zu empfinden, wahrzunehmen. So hebt er nicht nur begrifflich, sondern sinnenfällig den Gegensatz von Schein und Wirklichkeit auf.

Der jeweils als ruhend angesehene Körper ist der Träger des Koordinatensystems, auf das wir ausdrücklich oder stillschweigend die Bewegung beziehen. Erkenntnistheoretisch hat keins dieser Systeme vor einem anderen den Vorzug: das Ptolemäische ist genau so ‚wahr‘ wie das Kopernikanische. Die Vorteile des einen vor dem anderen sind nur praktischer Natur: das Kopernikanische erleichtert die Berechnungen der gegenseitigen Lagen der Planeten bedeutend. Das kann aber kein Grund sein, ihm Wirklichkeit und dem anderen nur Schein zuzubilligen. Der Astronom benutzt ja auch beide Systeme je nach seinen Zwecken und seiner Bequemlichkeit. Er hat — von dem System der Ekliptik abgesehen — neben dem Aequatorialsystem das Horizontalsystem und neben dem Aequatorial benutzt er den Theodolithen und das Passageinstrument.

Es gibt also keine absolute Bewegung und keine Beweise für die absolute Drehung der Erde. Die Ebene des Foucaultschen Pendels kann als in starrer Verbindung mit dem Fixsternhimmel angesehen werden,

Digitized by Google

ihre Verschiebung gegen ihre irdische Umgebung zeigt also nichts anderes, als daß sich Erde und Fixsternhimmel gegeneinander drehen. Aehnlich sind die Abweichungen geschleuderter Geschosse, von Türmen fallender Kugeln, der Winde gemäß dem Buys-Ballotschen Gesetz usw. zu beurteilen, und auch die Zentrifugalvorgänge können so aufgefaßt werden, daß sie bei Relativdrehungen von Massen gegenüber außerordentlich viel größeren Massen auftreten. (Mach, Mechanik, 7. Aufl. S. 226 bis 236. — W. Hofmann, Bewegung und Trägheit, a. a. O. — Petzoldt, Die Gebiete der absoluten und der relativen Bewegung in Ostwalds Annalen der Naturphilosophie 1908.)

33. Es gibt nichts Absolutes. Alles steht in Beziehungen. Und selbst wenn es etwas Absolutes gäbe, so könnte es nicht gedacht werden. Alles Denken ist ein Denken in Relationen. Es ist eine uralte Wahrheit, daß es kein Denken ohne Unterscheiden gebe, daß erst mit dem Unterscheiden das Denken beginnen könne. Wie hängt das zusammen? Alles Denken findet in korrelativen Begriffen statt. Denken ist nichts anderes als begriffliche Charakterisierung von Wahrnehmungen oder von Vorstellungen oder selbst wieder von Begriffen niederer Ordnung. Wir werden hierauf noch zu sprechen kommen. Jetzt wollen wir nur die Aufmerksamkeit noch einmal auf jene natürliche Dichotomie oder Polytomie der Begriffe lenken. Es gibt keinen Begriff, der seinen Sinn, seinen eigenartigen Inhalt nicht erst in der Gegenüberstellung mit mindestens noch einem anderen Begriff erhielte. Das ist ein weit wichtigerer Satz als der von der Schullogik hervorgehobene der Definition eines Begriffes durch das genus proximum und die spezifischen Differenzen. Denn dieses Verfahren setzt die Gültigkeit jenes Satzes voraus. Die Subsumption von Begriffen unter höhere hat ihr natürliches Ziel, wenn ein Begriff erreicht ist, der keinen höheren mehr über sich hat. Dieser höchste kann seinen Sinn nicht mehr durch einen noch höheren bestimmt erhalten, gewinnt ihn vielmehr nur in der Gegenüberstellung mit einem anderen gleicher Stufe. Aber auch jeder Begriff beliebiger Ordnung erhält seine volle Abgrenzung erst durch eine solche Gegenüberstellung. Dieser Umstand findet ja schon in der Lehre von den spezifischen Differenzen seinen Ausdruck. Nur werden diese eben von der Logik hinter die Subsumption an Bedeutung zurückgestellt, während gerade ihnen der erste Platz gebührt.

Das Ziel, die Welt zu begreifen, begrifflich zu charakterisieren, kann daher nie durch eine Begriffspyramide erreicht werden, die an der Spitze einen einzigen Begriff hätte. Nicht Begriffs-Monismus, wie wir schon oben (s. § 33) sahen, sondern Begriffs-Dualismus oder -Pluralismus ist das logisch allein mögliche Mittel zur Vollendung der Wissenschaft.

Der Satz, daß alle Begriffe ihrem Wesen nach korrelativ sind, befaßt das moderne Relativitätsprinzip der Physik unter sich, legt also auch dessen erkenntnistheroretischen Kern bloß (vgl. S. 71). Natürlich ist — entsprechend unseren oben dargelegten Anschauungen — die Korrelation der Begriffe nicht eine ‚apriorische Funktion des Bewußtseins', vielmehr dürfte sie geradezu das Charakteristische des Bewußtseins selbst sein: Bewußtsein besteht im Auftreten korrelativer Begriffe an irgendwelchen weiteren Inhalten. Das aber hat seine Bedingung in der Eigenart des nervösen Zentralorgans, das man geradezu ein Korrelationsorgan nennen kann: es vermag jedes psychologische Moment mit jedem anderen in Beziehung zu setzen, wie wir oben (s. § 14) bei der Berührung der Einheit des Bewußtseins gesehen haben. Und daß die Entwickelung eines solchen biologischen Korrelationssystems möglich ist, dafür müssen wieder Bedingungen in der Natur überhaupt gelegen sein. Jedes Naturgesetz zeigt uns ja auch tatsächlich eine Relation, einen funktionellen Zusammenhang physikalischer usw. Bestimmungsmittel. Es besteht somit auch von hier aus gesehen keine Kluft zwischen den höchsten psychologischen Vorgängen und den elementaren physikalischen Zusammenhängen.

34. Um eine Vorstellung von der allgemeinen Geltung unseres Korrelationsprinzips zu geben, wollen wir noch aus einem anderen Gebiet ein Beispiel zur Aufhebung des Gegensatzes von Sein und Sinnenschein und damit zur vollständigen Vernichtung der Substanz als des den Erscheinungen Zugrundeliegenden betrachten.

Man sagt: ein schräg zur Oberfläche ins Wasser getauchter Stab ‚scheint' an der Uebergangsstelle von Luft und Wasser geknickt zu sein, und der senkrecht hineingetauchte Stab ‚erscheint' verkürzt, der Boden des Gefäßes ‚scheint' gehoben zu sein. Diese Ansicht ist nicht aufrecht zu erhalten, wenn nicht sofort der Metaphysik des den Erscheinungen Zugrundeliegenden die Türen von neuem geöffnet werden sollen. Vielmehr muß es heißen: der Stab ‚ist' geknickt, der Stab ‚ist' verkürzt, der Boden ‚ist' gehoben — natürlich nicht absolut, sondern nur in Beziehung auf das Auge, optisch. Für die am Stabe und am Gefäß entlang fassende Hand ist der Stab nicht geknickt und verkürzt, der Boden nicht gehoben. Das ist kein Widerspruch, weil wir in beiden Fällen

Digitized by Google

verschiedene Beziehungspunkte, verschiedene Bezugssysteme, also eben auch verschiedene Relationen haben. Für gewöhnlich stimmt die optische Elementengruppe eines Dinges mit der taktilen überein, oft genug aber treten sie auseinander. Dann erhält die Gruppe für das gewöhnliche Urteil das Uebergewicht, die nicht nur vorübergehend auftritt. Da der Stab nach dem Herausziehen wieder Uebereinstimmung zwischen den optischen und den taktilen Komponenten zeigt, so gilt die optische Abänderung nicht für ‚wirklich'. Allein das ist nur eine Beurteilung auf Grund und zugunsten der Majorität der uns vorkommenden Fälle, eine Beurteilung unter praktischem Gesichtspunkt. Die Erkenntnistheorie muß anders verfahren. Für sie kann nicht die Häufigkeit eines Vorgangs darüber entscheiden, ob er für Wirklichkeit oder Sinnestäuschung erklärt wird.

Der Begriff der optischen Täuschungen darf für sie nicht mehr vorhanden sein. Für sie kann es nur heißen: unter diesen Bedingungen ist ein Gegenstand so, unter jenen so, und alle Bedingungskomplexe, alle Bezugssysteme sind untereinander gleichberechtigt.

Die Relativitätstheorie der gegenwärtigen Physik nähert sich diesem Standpunkte in hohem Grade an. Sie lehrt z. B., daß die Gestalt bewegter Körper von dem Bezugssystem abhängig ist — ‚ist', nicht ‚scheint' —, von dem aus sie betrachtet wird, daß also ein Körper unendlich viele kinematische Gestalten hat — und nicht nur nacheinander, sondern zu gleicher Zeit, wo aber wieder die Gleichzeitigkeit zweier Beobachtungen nicht absolut ist. Jedes Bezugssystem — Raum-Zeit-System — ist dabei jedem anderen vollständig gleichberechtigt. Diese Theorie bedeutet übrigens auch wie die des obigen Falles eine Diskrepanz zwischen den optischen und den taktilen Elementengruppen, da ein mit Riesenarmen versehener Beobachter, der die sich entfernenden Körper noch betasten könnte, mit den tastenden Händen keine Gestaltänderung feststellen würde, obwohl sich für sein zurückbleibendes Auge und für seine relativitätstheoretische Auffassung die ausgestreckten und am fortbewegten Körper entlang tastenden Arme und Hände — von ihrer perspektivischen Verkürzung ganz abgesehen — in demselben Verhältnis wie der sich entfernende Körper verkürzen müssen. Die wechselnde kinematische Gestalt der Körper ist ja rein optisch bedingt und beruht darauf, daß gleichzeitig unser Auge treffende Lichtsignale nicht gleichzeitig von den uns nächsten und fernsten Punkten des bewegten Körpers abgegangen sind, so daß der sich von uns entfernende Körper in der Bewegungsrichtung für unser Auge sich verkürzen, der sich uns nähernde sich verlängern muß.

Die unausbleibliche Folgerung der Auffassung von der Gleichberechtigung der Standorte des Beobachters und der von diesen verschiedenen Orten aus gegebenen Beschreibungen des Vorgangs muß sein, daß auch die Lehre von dem nur Scheinbaren der perspektivischen Verschiebungen und Verkürzungen der Körper im Raum aufgegeben wird. Die Berge, die ich aus weiter Ferne sehe, scheinen nicht kleiner zu sein, sondern sind es, nämlich für meinen Standort, und wenn ich auf ihnen emporsteige, so lerne ich nicht erst nun ihre wirkliche Größe kennen, sondern eben nur die für die unmittelbare Nähe, die nicht wirklicher ist als eine für die Ferne. Eine absolute Größe aber, d. h. eine für gar keinen Standort und gar keinen Beobachter haben sie nicht. Die Begriffe Gestalt, Größe, Farbe sind nicht nur untereinander, sondern auch zu dem des Auges und seines Ortes korrelativ.

35. Die bisherigen Darlegungen dürften für den Nachweis ausreichen, daß die Naturwissenschaft die Aufgabe hat und sich zum Teil schon selbst gestellt hat, die Vorstellung einer materiellen Substanz prinzipiell zu überwinden und allmählich vollständig zu beseitigen. Nun soll das gleiche auch von der immateriellen Substanz noch kurz gezeigt werden. Im Laufe dieser Betrachtungen werden wir noch (§ 37) auf eine wichtige Ergänzung der vorhergehenden zu sprechen kommen.

Die immaterielle Substanz tritt in der Naturwissenschaft vor allem als Kraft auf. Kräfte sollen die Ursachen irgendwelcher Veränderungen sein. Sie werden aber nirgends tatsächlich aufgewiesen, ebensowenig wie Ursachen eindeutig abgegrenzt werden; und ebensowenig findet man Definitionen, mit denen sich eine deutliche Vorstellung von ihrem Wesen verbinden ließe. Die Geschichte des Kraftbegriffes weist in vorwissenschaftliche und prähistorische Zeiten zurück, auf die animistische Kulturstufe, als der Mensch in allen Dingen Seelen sah, wie er an sich selbst eine Seele erlebte, und in er die Anstrengungsgefühle, die er bei Bewegungen des eigenen Körpers erfuhr, auch in die Dinge verlegte, um sich deren Bewegungen und sonstige Veränderungen zu erklären. Eine wichtige Weiterentwickelung dieser verschwommenen Vorstellungen erfolgte durch Aristoteles, der die immateriellen und durchaus unräumlichen, selbst ortlosen Platonischen Ideen in die Dinge, in erster Linie in die Lebewesen, namentlich in deren Keime als in ihnen Wirkendes, sie Gestaltendes und Entwickelndes hinein-

Digitized by Google

verlegte. Damit wurden die vitalistischen Vorstellungen in die Wissenschaft eingeführt oder doch von ihr ausdrücklich anerkannt. Eine mächtige Unterstützung und Erweiterung erfuhren diese Gedanken durch das Mißverständnis, das Newtons Mechanik bei dessen Schülern fand: sie meinten, daß sein Gravitationsgesetz eine fernwirkende Zentralkraft erwiesen hätte, und breiteten nun diese Zentralkräfte, die gesetzmäßig nach Funktionen der Entfernung wirken sollten, im ganzen Gebiete der anorganischen Naturwissenschaft aus. Molekularkräfte, Kraftzentren, Atomseelen, Lebenskraft, Entelechien, Dominanten usw. sind die Abkömmlinge jener Aristotelisch-Pseudo-Newtonschen Vorstellungen.

Keine noch so genaue Analyse des Tatbestandes weiß das Geringste über solche wirkenden Faktoren zu berichten. Sie sind Gespenster und für das Verständnis der Dinge auch genau so unnütz und schädlich wie Gespenster. Sie verhindern ihre Anhänger am freien Blick auf die wirklichen Vorgänge, im besonderen an der Einsicht in die tatsächlichen funktionellen Zusammenhänge der letzteren, da sie zu einer ganz unhaltbaren Kausalitätstheorie führen.

Das Charakteristische der bei den Philosophen fast noch durchgängig und bei den Naturforschern in den weiteren Kreisen herrschenden Kausalitätsvorstellungen ist, daß man glaubt, irgendein Geschehen aus einem unmittelbar vorangehenden eindeutig ableiten zu können, daß man in dem vorangehenden eine ‚wirkende Ursache' voraussetzt, nämlich eine ‚Kraft', und daß diese irgendwie im Inneren des wirkenden Körpers verborgen sei. Wie das ‚Wirken' einer solchen mystischen ‚Kraft' vor sich geht, wie es beginnt und verläuft und worin es besteht, darüber äußert man sich nicht, an diese Fragen denkt man überhaupt nicht oder, wenn doch, hält man sie für unbeantwortbar, ohne zu merken, daß es dieselben Fragen sind, die man dem gegenüber stellt, was durch das Wirken der Kräfte erklärt werden soll. Man schiebt das Problem nur ins Dunkel zurück, eine in der Geschichte der Wissenschaft bis auf den heutigen Tag sehr verbreitete Art, sich das Unbequeme einer Frage einigermaßen vom Halse zu schaffen. Ueber dem Warum vergißt man das Wie und übersieht völlig, daß die Antwort auf das Warum schließlich auch gar nicht anders lauten kann als die auf das Wie.

Darum bedeutet Galileis Frage nach dem Wie des Falles der Körper statt nach dem alten Warum den Anbruch einer neuen Zeit. Vor allem feststellen, was ist, was tatsächlich geschieht — damit kommt man weiter als mit dem Grübeln über vermeintlichen verborgenen Gründen. Und sind weitere und tiefere Zusammenhänge noch vorhanden, so können wir uns ihrer wieder nur durch die Antwort auf ihr Wie bemächtigen. Auch Newton gab mit seinem Gravitationsgesetz keine Antwort auf jenes unklare Warum. Es war für ihn vielmehr nichts anderes als der knappste Ausdruck für die Tatsachen, für das Wie der Vorgänge. Es steht und fällt mit Keplers Gesetzen: soweit diese zutreffend sind, soweit muß auch mein Gravitationsgesetz zutreffen, denn es ist nur die mathematische Voraussetzung, das logische a priori für jene Sätze; hat Kepler die letzteren nicht genau genug aus Tychos Beobachtungen induziert, oder hat Tycho nicht genau genug beobachtet, so wird auch mein Gravitationsgesetz nicht genau gelten: hypotheses non fingo, d. h. mit diesem Gesetze mache ich keine Annahme, sondern beschreibe ich nur Tatsachen; ich stelle keine verborgenen Ursachen der beobachteten Vorgänge auf, sondern sage nur so knapp wie möglich, wie sie wirklich verlaufen.

Das ist der positivistische Geist der modernen Naturwissenschaft, der sich schon bei ihren Begründern mühsam gegen die alten Aristotelischen, im letzten Grunde animistischen Vorstellungen durchsetzen mußte, den die Robert Mayer, Maxwell, Kirchhoff ergriffen und den in völliger Allgemeinheit Ernst Mach ins hellste Licht des Bewußtseins rückte, der aber trotzdem noch heute im Lager der Naturforscher vielfach verkannt wird, ja überhaupt nicht gekannt ist und selbst von Forschern, die auf engerem Gebiet Bedeutendes leisten, in vollständiger Verblendung als eine Gefahr für die Weiterentwickelung der Naturwissenschaft angesehen wird.

36. Freilich spricht auch das Gravitationsgesetz noch von einer ‚Kraft'. Es sagt, daß — von einem bloßen Proportionalitätsfaktor abgesehen — die Kraft p, die zwei Massen m_1 und m_2 aufeinander ausüben, gleich sei ihrem Produkte $m_1.m_2$, dividiert durch das Quadrat der Entfernung r ihrer Massenmittelpunkte, also $p = \frac{m_1.m_2}{r^2}$. Allein hier bedeutet die ‚Kraft' p nichts anderes, als das Produkt aus der Masse m_1 des einen der beiden Körper und der Beschleunigung $\varphi = \frac{m_2}{r^2}$, die er in der Gegenüberstellung mit dem anderen Körper erhält. Und so ist nun immer in der wirklichen, lebendigen Mechanik ‚Kraft' nur das Produkt von Masse und Beschleunigung, also zweier meßbarer, vollkommen bestimmter Größen. Und selbst wenn die Physiker noch etwas anderes darunter denken sollten, so hat dieses andere

doch nicht den geringsten Einfluß auf die mathematischen Entwickelungen, die mit jener Größe p vorgenommen werden, und die Ergebnisse dieser Entwickelungen werden auch niemals der Ausdruck für unerfahrbare und verschwommene Vorstellungen, sondern nur für tatsächliche Beziehungen zwischen meßbaren physikalischen Bestimmungsmitteln der Vorgänge sein. Jenes andere ist somit nach unseren Grundsätzen (s. § 21) auch nicht Gegenstand naturwissenschaftlicher und so auch nicht etwa philosophischer Erkenntnis, sondern verfällt einfach der Ausschaltung. Es kann nur Gegenstand der Psychologie der Forschung sein. Damit lassen wir die Kraft als immaterielle Substanz und als verborgene ‚Ursache' irgendwelcher ‚Wirkungen' vollständig fallen. Ihr Begriff ist unklar und unnötig. Wir fragen nicht, ‚warum' die Massen bei der Gravitation nach dem Newtonschen Gesetz ‚aufeinander wirken', sondern begnügen uns mit der Feststellung und der dadurch ermöglichten gedanklichen Beherrschung der Tatsachen, wie sie sich nun z. B. in der Vorausbestimmung der Stellung der Planeten, des Mondes und der Sonne ausdrückt. Und wenn wir hoffen, daß dereinst auch für die Gravitation noch umfassendere Zusammenhänge gefunden werden, so erwarten wir diese nicht in prinzipiell anderer Art, als das Newtonsche Gesetz selbst einen Zusammenhang zwischen Massen und Beschleunigungen zeigt, sondern etwa nur so, daß das Gravitationsgesetz sich einmal ähnlich aus allgemeineren Gesetzen mathematisch deduzieren lassen werde, wie heute aus ihm die Keplerschen Gesetze folgen. Wie hoch aber auch die Abstraktion in der Weiterentwickelung theoretisch-physikalischer Forschung noch emporsteigen möge, sie wird nie etwas anderes sein als der möglichst knappe Ausdruck möglichst vieler Einzeltatsachen, d. h. eben sie wird nur abstrakte, begriffliche Beschreibung gegebener Wirklichkeiten, Feststellung vorgefundener und aufweisbarer Zusammenhänge, variabler physikalischer Größen — Massen, Entfernungen, Potentiale, Temperaturen, Energien usw. — sein.

37. Wie im Grunde schon Newton in seinem Gravitationsgesetz den Aristotelischen Kraftbegriff überwand, so hat Mach eine weitere Elimination vorgenommen, die Newton und die ihm folgende Mechanik noch hatten bestehen lassen. Für Newton und seine Nachfolger — aber auch noch für so manches heutige Lehrbuch der Physik — ist ‚Masse' die ‚Quantität der Materie eines Körpers', also die Menge seiner materiellen Substanz oder, wie manche geradeheraus sagen, die Anzahl seiner Moleküle. Die materielle Substanz ist aber zuletzt ein nicht weniger unklarer Begriff als der der immateriellen. Das geht schon aus den Platonischen Anschauungen, nach denen die Materie eigentlich gar nicht existiert, ganz deutlich aber aus den Untersuchungen Berkeleys hervor. Mach will Klarheit schaffen. Er findet sie in der begrifflichen Analyse der Gleichung $m_1 . \varphi_1 = -m_2 . \varphi_2$, die erfüllt ist, wenn zwei Massen m_1 und m_2 unter der ‚Einwirkung irgendeiner Kraft' — Gravitation, Elektrizität, Magnetismus — einander gegenüberstehen. Es treten dann an ihnen entgegengesetzt gerichtete Beschleunigungen φ_1 und φ_2 auf, die jene Gleichung erfüllen. Mach schreibt nun jene Beziehung — das Newtonsche Gegenwirkungsprinzip: Gleichheit von Druck und Gegendruck, von Zug und Gegenzug, von Kraft und Gegenkraft (Masse mal Beschleunigung) — einfach in der Form $m_1 : m_2 = -\varphi_2 : \varphi_1$ und definiert nun das Massenverhältnis zweier Körper als das negative umgekehrte Verhältnis der Gegenbeschleunigungen. (Mechanik, 7. Aufl. S. 211f.) Es ist also eine Masse m_2 $-\frac{\varphi_1}{\varphi_2}$ mal so groß wie eine andere, etwa als Einheit festgesetzte m_1, wenn das Verhältnis von m_1 zu m_2 dem negativ genommenen umgekehrten Verhältnis ihrer Gegenbeschleunigungen φ_1 und φ_2 gleich ist. Diese Beschleunigungen lassen sich messen und damit auch die Massen selber, ohne daß man auf die Quantität, das Volumen der Körper zu achten braucht. Weist man noch nach, daß zwei Massen, die einer dritten gleich sind, es auch untereinander sein müssen, so ist damit der Massenbegriff durchaus klar und namentlich völlig vom Volumbegriff emanzipiert: die Masse eines Körpers hat mit seinem Volumen nicht mehr zu tun als etwa sein elektrisches Potential, wie das der Tatsache entspricht, daß gleiche Massen verschiedener Körper, wie Kork und Quecksilber, sehr verschiedenes Volumen haben können.

Nach dieser Methode der unmittelbaren Analyse der physikalischen Gleichungen und der in ihnen in Beziehung gesetzten Größen geht Mach überhaupt vor und befreit so die Physik von der Metaphysik, nämlich von der Substanzvorstellung. Wir erhalten so erst strenge Begriffe von Elektrizitätsmenge, Temperatur, Wärmemenge, Energie usw. Durch diese Betrachtungsweise schärft er den Blick für das rein Tatsächliche und führt uns so schließlich auch zur Ueberwindung der Vorstellungen des absoluten Raumes, der absoluten Zeit und der absoluten Bewegung: die Ueberzeugung von der Relativität alles Wirklichen und von der Stellung des Menschen mitten in der Natur ist die reife Frucht dieser gewaltigen und tief dringenden Geistesarbeit.

Digitized by Google

38. An die Stelle der alten verworrenen Kausalitätsvorstellungen treten damit sehr bestimmte, von den Begriffen Ursache und Wirkung durchaus freie Anschauungen. Wir erhalten sie, wenn wir das, was Mach an den einzelnen wichtigen Gleichungen und Begriffen der Physik vornimmt, nun — und zwar ebenfalls mit ihm — allgemein tun, sie analysieren, das Gemeinsame aller physikalischen Gleichungen ins Auge fassen.

Durch diese Gleichungen sind die variablen Werte der physikalischen Maßbegriffe der Bestimmungsmittel der physikalischen Vorgänge miteinander verbunden wie der Wert der Funktion mit dem des Arguments. Treten in einer Gleichung mehr als zwei Veränderliche auf, so gehört im allgemeinen zu jedem Werte einer Variablen stets ein bestimmter Wert einer der anderen unter einstweiliger Konstanterhaltung der übrigen. Die einzelnen Größen hängen also simultan voneinander ab, gleichzeitig mit dem Werte der einen tritt der zugehörige Wert der anderen ein, oder, wie man auch sagen kann, diese Abhängigkeit ist gegenseitig und von der Zeit unabhängig. Sie fällt ganz aus den alten Kausalitätsvorstellungen heraus, nach denen die die Wirkung eindeutig bestimmende Ursache immer der Wirkung vorbergeht. Es liegt aber auch auf der Hand, daß man von einer solchen vorangehenden eindeutig bestimmenden Ursache gar nicht sprechen darf, weil zwischen zwei noch so nahe liegenden zeitlichen Momenten stets unendlich viele andere denkbar sind, also niemals der unmittelbar vorangehende angegeben werden kann; nur wenn die von der Naturwissenschaft überall vorausgesetzte Stetigkeit des Geschehens in diskrete Momente aufgelöst werden könnte, wäre es denkbar, daß ein vorangehender Moment einen folgenden eindeutig bestimmte.

Der gewöhnliche Ursachsbegriff entspricht wissenschaftlichen Anforderungen nicht, auch bei Hume, Kant und Schopenhauer nicht. Man braucht nur einmal die Beispiele ins Auge zu fassen, mit denen diese Forscher ihre Betrachtungen über Kausalität illustrieren. Schon daß sie eben nur illustrieren, anstatt die Tatsachen sorgfältig zu analysieren, ist ein großer Mangel. So gelangt z. B. Schopenhauer zu der sonderbaren Ansicht, Newtons Gegenwirkungsprinzip besage, „daß der vorhergehende Zustand (die Ursache) eine Veränderung erfährt, die an Größe der gleichkommt, die er hervorgerufen hat (der Wirkung)“ (Schopenhauers Werke, Ausg. Grisebach III, S. 60). Welcher Physiker denkt beim Gegenwirkungsprinzip ($m_1\varphi_1 = m_2\varphi_2$; s. § 37) an eine zeitliche Folge! Aehnliche unklare Vorstellungen treffen wir aber noch überall in der heutigen Philosophie, selbst bei solchen Philosophen, die sich ernstlich um naturwissenschaftliche Dinge bemühen. Es fehlt eben an eindringender naturwissenschaftlicher Bildung von Jugend auf. Und darunter leidet auch die Majorität der Naturforscher selbst, die sich nicht um allgemeine Einsichten kümmert; daher die gerade hinsichtlich der Kausalitätsvorstellungen außerordentlich rückständigen vitalistischen Lehren immer wieder Boden gewinnen.

Die gangbaren Kausalitätsvorstellungen versuchen etwas Unmögliches: den wissenschaftlichen Gedanken der Bestimmtheit jedes Geschehens mit dem vorwissenschaftlichen einer vorhergehenden Ursache als des Bestimmenden zu vereinigen: Ursache und Wirkung sind nur populäre Begriffe, die in Bausch und Bogen ganze Abschnitte eines Vorgangs zusammenfassen, nicht scharf begrenzt und nicht in elementare Faktoren aufgelöst. Was aber Bestimmtheit und Bestimmbarkeit des Geschehens heißt, das ist nur aus der Betrachtung der physikalischen Gleichungen zu lernen.

Diese geben uns nun außer jener simultanen gegenseitigen Abhängigkeit der Werte der verschiedenen Bestimmungsmittel eines Vorgangs auch noch eine gewisse sukzessive Abhängigkeit; aber — was wohl zu beachten ist — nicht verschiedener Bestimmungsmittel, sondern nur der Werte eines und desselben. Und diese Abhängigkeit besagt nur, daß eine beliebig herausgegriffene Variable der Gleichung sich zwischen hinreichend nahe gelegenen Momenten im allgemeinen nur in einem Sinne ändert und daß sie während dieser Aenderung keinen neuen Wert erreicht, ohne alle zwischen dem betrachteten Ausgangswert und diesem neuen dazwischen liegenden durchschritten zu haben, daß sie sich also stetig ändert. Wir setzen dabei voraus, daß diese stetige Aenderung des herausgegriffenen Parameters unserer Gleichung ein getreues Abbild der betreffenden Seite des wirklichen Vorgangs ist. Ob diese Voraussetzung immer zutrifft, darüber läßt sich heute noch nichts sagen. Jedenfalls kommt allen unseren bisherigen Raum- und Zeit- und den übrigen physikalischen Begriffen Stetigkeit zu.

Zugleich mit jenem Parameter ändern sich nun die übrigen Variablen des Vorgangs und zwar so, daß eben die Gleichung jeden Augenblick erfüllt bleibt. So ‚beschreibt‘ die letztere das wirkliche Geschehen. Dabei ist nicht zu vergessen, daß jede physikalische Gleichung nur eine mehr oder weniger weit gehende Annäherung an den wirklichen Verlauf der Dinge ist, abhängig von dem Genauigkeitsgrade unserer

Digitized by Google

Beobachtungen und den Abstraktionen (z. B. von der Reibung, vom Luftwiderstande, von der Erwärmung eines Leiters), die wir bei ihrer Aufstellung gemacht haben.

Einen weiteren Blick in die Bestimmtheit des Naturgeschehens gewähren uns einzelne besondere sehr allgemeine Gleichungen der Physik, die Minimum- und Variationsprinzipien der Mechanik: das Prinzip der kleinsten Reaktion, das Hamiltonsche Prinzip, das Prinzip des kleinsten Zwangs usw. Sie haben in Wirklichkeit nicht das geringste mit irgendwelchen teleologischen Vorstellungen von der Natur als einer sparsamen Arbeiterin usw. zu tun, sondern stellen nur die Bewegungen der Körper als einzigartige Fälle unter unendlich vielen denkbaren dar (Näheres s. Petzoldt, „Maxima, Minima und Oekonomie", Vierteljahrsschr. für wiss. Philos. XIV, 1890; „Das Gesetz der Eindeutigkeit", ebda. XIX, 1895; Einf. i. d. Philos. d. r. E.; Die Notw. u. Allgem. des psych. Parall.; a. a. O.).

39. Mit diesen Betrachtungen über Kausalität und mit dem früher (unter 9 bis 15) gegebenen Nachweis, daß psychologische Vorgänge untereinander nie eindeutig zusammenhängen, sind zugleich alle Arten vitalistischer Anschauung zurückgewiesen. Lebenskräfte, seelische elementare Naturfaktoren, Entelechien, Dominanten, biologisch wirkende Bedürfnisse und ihre Befriedigungen und wie diese immateriellen Momente noch alle heißen mögen, die das biologische Geschehen schneller aufhellen sollen, als es den Fortschritten der Chemie und Physik möglich ist, alle diese Auskunftsmittel sind niemals aufzuweisen, sind nichts als Hypothesen, aber nicht Hypothesen im Sinne von Antizipationen der Erfahrung — wie es der Neptun nach Leverriers Berechnung war, ehe Galle ihn im Fernrohr erblickte —, sondern rein metaphysische Hypothesen, deren empirische Bestätigung gar nicht denkbar ist, d. h. sie sind zuletzt willkürliche Erfindungen. Weiter leiden sie an dem tödlichen Fehler, daß sie auch in Gedanken das nicht leisten können, was sie sollen: das biologische Geschehen eindeutig begreiflich zu machen. Denn da sie nicht aufweisbar sind, sind sie auch nicht meßbar. Aber selbst wenn sie aufweisbar wären wie die psychologischen Geschehnisse, nach deren Muster ja zum Teile jene vitalistischen Faktoren gebildet sind, so würden sie wieder nicht die unerläßliche Bedingung der eindeutigen Bestimmungsmittel erfüllen: Meßbarkeit. Gleich ihren psychologischen Vorbildern wären sie keine Größen und auch nicht als Skalare ziffernmäßig zu registrieren: es fehlten ihnen also alle Vorbedingungen für die Rolle eindeutig bestimmender Faktoren.

Die treibenden Motive für den Vitalismus liegen, seinen Vertretern selbst unbewußt, in den Substanzvorstellungen. Alle Vitalisten sind im wesentlichen Realisten und Anhänger der mechanischen Naturansicht. Zugleich stoßen sie als Biologen — anders als Physiker und Chemiker — stark auf das psychologische Problem: das Psychologische ist genau so wirklich wie das Physikalische, beide hängen im menschlichen und tierischen Körper aufs engste zusammen, wie ist also diese Verbindung zu denken? Da sie nun nicht wissen, daß dieses Problem das der neueren Philosophie seit Descartes ist, auch nur wenig in die psychologischen Tatbestände eingedrungen sind, so fallen sie in die Irrtümer der ‚Wechselwirkung' zwischen psychologischem und biologischem Geschehen zurück und dehnen diesen kritisch längst überwundenen Gedanken auf das ganze Gebiet der Lebewesen bis zu den niedersten Organismen aus, ja, manche gehen noch weiter und wollen auch die anorganischen Vorgänge der Macht ihrer vitalistischen Begriffe unterwerfen.

So bedingen sich schließlich mechanische Naturansicht und Vitalismus gegenseitig. Die erstere wird den letzteren immer wieder von neuem hervortreiben, weil sie das psychologische Problem ungelöst läßt, und anderseits ist der Vitalismus an den Bestand der mechanischen Naturansicht gebunden, weil ohne sie die Motive für seine Existenz wegfielen. Die stark engagierten Vitalisten werden also auch nicht ernstliche Gegner der mechanischen Naturansicht, der materiellen Substanz werden. Aber sie werden — den Physikern und Chemikern gegenüber — das Verdienst haben, immer wieder auf die psychologische Frage hinzuweisen, und dadurch wird schließlich auch das Verständnis für die Lösung des Problems vorbereitet werden, die heute bereits vorliegt und die man sich nur anzueignen und überall durchzuführen braucht.

Höchst wünschenswert ist für diesen wichtigen und unerläßlichen Prozeß eine Arbeitsteilung auf biologischem Gebiet, wie sie auf dem der Physik längst besteht: die zwischen Experimentalforschern und Theoretikern. Sache der theoretischen Biologie ist es, kritisch klärend zu wirken und die großen Zusammenhänge zu wahren, im besonderen aber heute das psychologische Problem zu fördern. Dazu ist eingehende Beschäftigung mit Psychologie und Erkenntnistheorie nötig. Soll das neben der Beschäftigung mit den theoretischen Problemen der Biologie im engeren Sinne geleistet werden, so muß ähnlich wie bei der theoretischen Physik die Beschäftigung mit Problemen der praktischen Forschung — hier also der Anatomie und Histologie, der Physiologie, der Bakterio-

Digitized by Google

logie und bakteriologischen Chemie, der experimentellen Entwickelungsbiologie usw. — naturgemäß zurücktreten. Eine solche Arbeitsteilung dürfte auch — wieder ähnlich wie in der Physik — einer Differenz der Forscher durchaus entsprechen, und die Anerkennung dieser Differenz darf uns für den Fortschritt der Wissenschaft das Beste hoffen lassen angesichts der ungeheuren Fülle des aufgespeicherten und für ein Gesamtbild vielfach noch gar nicht oder doch nicht hinreichend verwerteten Tatsachenmaterials und angesichts der ungerechtfertigten und bedrückenden Forderungen etwa immer neuer experimenteller Arbeiten von vorwiegend theoretisch begabten Forschern (Näheres s. Petzoldt, Die vitalistische Reaktion auf die Unzulänglichkeit der mechanischen Naturansicht. Verworns Zeitschr. für allg. Physiol. 1909. — Jensen, Organische Zweckmäßigkeit, Entwicklung und Vererbung vom Standpunkte der Physiologie, Jena 1907. — B. Kern, Das Problem des Lebens in krit. Bearbeitung. Berlin 1909).

40. Gewiß ist die endgültige Beseitigung der Substanzvorstellungen eine der wichtigsten Aufgaben der Naturwissenschaft unserer Zeit. Aber sie hat mehr den Charakter der Beseitigung eines Hindernisses für den freien Blick als den der Erfassung des nun ohne Hemmung Erschauten. Wir werden somit fragen: was haben wir denn als die Aufgabe der Naturwissenschaft nach Ueberwindung der Substanzvorstellungen anzusehen? Die Antwort lautet in Kürze: daß sie ein System von Begriffen und Gesetzen für die Dinge und Vorgänge der Natur aufstelle. Das soll im folgenden etwas auseinandergelegt werden.

Die wichtigste pyschologische Waffe des Menschen gegenüber der auf ihn eindringenden Fülle von Reizen und Reizkomplexen ist der Begriff; und das Mittel, die Mannigfaltigkeit des Wirklichen sich untertan zu machen zur geistigen Beherrschung und praktischen Verwertung, ist das Gesetz und, wo das nicht oder vorläufig nicht zu finden ist oder wo es zu entfernt liegt, die Regel. Der Unterschied ist — einstweilen wieder nur kurz —: der Begriff geht auf das Gemeinsame einer Gruppe von ‚Dingen‘ oder von ‚Vorgängen‘, z. B. Weichtier, Maschine, Verein, Anspannung, Temperatur, Entropie, Dielektrizitätskonstante, Akkusativ, Konditionalsatz, Laufen, Kämpfen, Heizen, Schwitzen, Analyse, Widerstandsmessung, Treue, Betrug; die Regel stellt einen gewöhnlich auftretenden Zusammenhang zwischen Begriffen fest, das Gesetz einen ausnahmslosen. Z. B. sind Regeln: in den Sprachen nördlicher Völker ist ‚Sonne‘ weiblichen, ‚Mond‘ männlichen Geschlechts, in denen der südlichen umgekehrt; die lateinische Konjunktion ut regiert den Konjunktiv; in der Entwickelung der indogermanischen Sprachen folgt auf die media die tenuis, auf die tenuis die aspirata (dens — tuntus — Zahn); ehrlich währt am längsten; die Färbung der Tiere stimmt mit den vorwiegenden Farben ihrer gewöhnlichen Umgebung überein; in Mitteleuropa drehen die Winde von Osten über Süden nach Westen. Gesetze dagegen: das Verhältnis der Sinus von Einfalls- und Brechungswinkel der Lichtstrahlen ist konstant; der elektrische Strom ist mit einem magnetischen Feld verbunden; der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist eine Funktion des Druckes, unter dem sie steht; körperliche Betätigung beschleunigt den Herzschlag; ein perpetuum mobile ist unmöglich.

Man muß unterscheiden zwischen dem logischen und dem psychologischen Inhalt eines Begriffs. Der logische Inhalt wird durch eine Definition angegeben, d. h. es werden alle die Umstände zusammengestellt, die zusammentreffen müssen, wenn die Anwendung des betreffenden Begriffes zulässig sein soll. Die Wissenschaft geht auf solche Definitionen aus. Indessen sind das vielfach erst ihre Ziele. Sie verwendet aber ihre Begriffe gewöhnlich schon vor der scharfen Begrenzung. Das ist sogar in der Mathematik so und immer so gewesen. Die Begriffsbildung ist eben eine ursprüngliche psychologische Tatsache, die sich auf einfachere solche Tatsachen nicht zurückführen läßt, sondern nur noch im Zusammenhang mit biologischen Tatsachen tiefer verstanden werden kann. Ein Begriff ist also ein psychologisches Einfaches, nicht weiter Analysierbares. Jemand wird in einer ihm nicht näher bekannten Gegend auf ein Geräusch aufmerksam, das er nicht ‚deuten‘ kann: erst hält er es für Räderrasseln, dann für Trommeln, für Pferdegetrappel, endlich ‚merkt‘ er, daß es von den Propellern eines Luftschiffs herrührt. Er hat eine Reihe von Begriffen ‚anzuwenden‘ versucht, die nicht standhielten; schließlich ‚erkennt‘ er, was das bisher Unbekannte ‚ist‘. Bei jeder Anwendung erhielt der Empfindungskomplex des Geräuschs einen anderen ‚Charakter‘, eine gefühlsartige besondere Färbung, ohne daß noch weitere Vorstellungen hätten dazu zu treten brauchen. Und treten sie dazu, wie die Erinnerungen an Gesichtswahrnehmungen eines Trommlerkorps, einer reitenden Schwadron usw., so waren diese eben mit demselben begrifflichen Geräuschcharakter verbunden, der dem gerade erlebten nun beigelegt wurde. Aehnlich ist es, wenn jemand eine Handlung als ‚Verrat‘ charakterisiert. Damit erhält der Vorstellungskomplex jener Handlung eine

Digitized by Google

gefühlsmäßige Färbung, die sich nicht weiter auflösen läßt.

Alle Dinge oder Vorgänge, die in haltbarer Weise mit einer solchen Charakterisierung belegt werden können, gehören als Einzelfälle zu dem Umfang des Begriffs. Der Begriff ist das ‚Allgemeine' zu jenen Sonderfällen. Dabei ist sehr zu beachten, daß bei den menschlichen Begriffen außer jenen Einzelfällen auch noch der den Begriff bezeichnende Lautkomplex mit demselben begrifflichen Charakter belegt ist wie jene Sonderfälle, daß also das Wort gewissermaßen mit zu den einzelnen unter den Begriff fallenden Dingen oder Vorgängen gehört und gerade durch den begrifflichen Charakter erst zum ‚verstandenen', ‚begriffenen' Wort wird. Daher können ganze Sätze ‚verstanden' werden, ohne daß eine einzige sinnliche Vorstellung durch sie wachgerufen zu werden braucht, Sätze wie „Not kennt kein Gebot", „Leben heißt Kämpfen", „Erfahrung bleibt des Lebens Meisterin". Darin liegt sogar eine große Gefahr, wie die Geschichte der Philosophie deutlich zeigt. Die Entfremdung von den sinnlichen Tatsachen, das rasche Emporführen hoher spekulativer Bauten auf schmalem Erfahrungsgrunde findet hier seine Erklärung. Aber auch die Fähigkeit, leicht zu immer höheren Abstraktionen emporzusteigen, wie wir es z. B. beim mathematischen Analytiker sehen, für den geradezu die Gesichtsbilder seiner Formeln das sinnliche Objekt werden, an dem er arbeitet, an denen seine mathematischen Begriffe haften. Es läßt sich eben jeder sinnliche Elementenkomplex, auch Lautkomplexe und irgendwelche Zeichenkomplexe, begrifflich charakterisieren, ohne daß anderweitige Elementenkomplexe für die Wahrnehmung oder die Vorstellung dazu treten. Das ist eine Tatsache von sehr großer Bedeutung, denn sie ist die Psychologie des abstrakten Denkens. Sie zeigt zugleich, daß das Denken in höheren Sphären im Grunde mit dem niederen, unmittelbar an den einzelnen Wahrnehmungen haftenden übereinstimmt. Denn vom sinnlichen Wahrnehmungs- oder Vorstellungskomplex kann es sich ebenfalls nicht emanzipieren: ein Denken in bloßen Begriffen gibt es nicht, zum mindesten sind sprachliche oder sonstige Zeichenkomplexe erforderlich. Andererseits geht aus allem hervor, daß das Denken, auch das abstrakteste, nicht durchweg an die Sprache gebunden ist, sondern auch an anderen sinnlichen Komplexen stattfinden kann (weiteres s. Petzoldt, Einführung usw. I, S. 265ff.). Neue Begriffe bilden sich sogar stets erst an solchen Komplexen und gelangen nachher erst zur sprachlichen und sonstigen Bezeichnung.

41. Der Begriff ist eine Reaktion auf Reize, eine Wehr, eine Waffe zu Schutz und Trutz. Wer einen Begriff von der Geschwindigkeit des Autos hat, der läuft ihm nicht zu spät, aber auch nicht zu früh aus dem Wege. Mit einem hinreichenden Begriff von Diphtheritis kann man sich vor der Ansteckung hüten und die ausgebrochene Krankheit überwinden. Und so, wer Verrat zu erkennen vermag, wer einen genügenden Begriff vom Betrug hat, wer das Echte vom Unechten zu unterscheiden vermag, der kann sich schützen und das Schädigende vernichten. Wer einen Begriff vom Aberglauben besitzt, ist gegen viele Aengstigungen, denen namentlich die Völker auf niederer Kulturstufe ausgesetzt sind, gefeit. Wer weiß, daß die Frage nach dem Wesen der Welt unlogisch gestellt ist, wer also einen Begriff vom Wesen dieser Frage hat, den quält nicht mehr das „qualvoll uralte Rätsel", worüber so viele „arme schwitzende Menschenhäupter" gegrübelt haben. Die Probleme aber, die uns heute quälen, finden ihre Lösung — und wir finden die Erlösung von ihnen — in Begriffen und in gesetzmäßigen Beziehungen von Begriffen. Darum ist es eben die Aufgabe aller Wissenschaft, im besonderen auch der Naturwissenschaft, Begriffe und gesetzmäßige Zusammenhänge von Begriffen zu suchen. Dadurch werden wir zu Herren über die Dinge und Vorgänge in der Natur, dadurch gelangen wir aus der instabilen Lage des Problems in die stabile seiner Lösung, dadurch hebt der Forscher die Vitaldifferenzen auf, in die ihn die Probleme versetzen (s. § 19).

Das ‚Begreifen', d. h. das Charakterisieren durch Begriffe, ist also eine biologische Angelegenheit. Wenn wir uns mit den Ereignissen in unserer Umgebung abfinden, kommt zugleich das Gehirn mit seiner Umwelt ins Gleichgewicht, behauptet sich gegenüber ihren Angriffen auf seinen Bestand. Wir können uns überhaupt keinen Begriff vom Begreifen machen, wenn wir es nicht mit Vorgängen vergleichen, die ihm ähnlich sind. Und solche finden wir nur im biologischen Geschehen.

Da sind die nächsten Verwandten der Begriffe die Reflexe. Auch sie sind Einrichtungen, die den Organismus gegen Störungen schützen, ihn wieder mit der Umgebung ins Gleichgewicht bringen. Die geübten und geläufigen Begriffe funktionieren — d. h. treten auf — gerade so automatisch und schnell wie die Reflexe. Dabei haben die letzteren mit den Begriffen noch etwas anderes höchst Charakteristisches gemein: daß die Reize, durch die sie ausgelöst werden, einen Spielraum haben. Innerhalb gewisser Grenzen ist es ganz gleichgültig, in welcher Richtung, mit welcher Art von

Digitized by Google

Gegenständen und mit welcher Geschwindigkeit man sich dem geöffneten Auge nähert, immer tritt der Lidreflex, unwillkürlicher Lidschluß, ein. Es scheint sich sogar innerhalb gewisser Intervalle die Reflexgröße nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz der Reizgröße anzupassen.

Ein und dieselbe Antwort auf eine ganze Gruppe von Reizen zu geben, scheint überhaupt zu den wichtigsten Lebensäußerungen des Protoplasmas zu gehören. Ueberall stoßen wir bei hinreichend schnellen Aenderungen der Reizstärken auf die Tatsache der Schwelle. Der Abstand der Begriffe voneinander scheint nur ein besonderer Fall dieses allgemeinen biologischen Verhaltens zu sein. Die Reaktionsweisen bilden niemals stetige Reihen. Darum ist das psychologische Geschehen auch durch und durch sprungweise, mosaikartig, diskontinuierlich: keine Empfindung geht stetig in eine andere über und zwischen zwei Empfindungen lassen sich nicht beliebig viele Zwischenglieder einschalten; stetigem hinreichend schnellem Anwachsen des Reizes folgt die Empfindung sprungweise. Das deutet handgreiflich auf den Auslösungscharakter der zugrundeliegenden zentralnervösen Prozesse hin und auf die relative Stabilität des jeweiligen Zustandes der zentralen Teilsysteme, die im allgemeinen statthat. Wie sollte auch für einen Organismus ein relativ so kleiner Rauminhalt denkbar sein, wenn er für jede Reizgröße und für jede neue Reizqualität eine besondere Reaktionsweise entwickeln müßte!

Wieder haben wir also gefunden, daß eine psychologische Einrichtung höchsten Ranges — die begriffliche Reaktion — nur ein hoch entwickelter Sonderfall einer ganz allgemeinen biologischen Tatsache ist, daß also eine der wichtigsten seelischen Tatsachen mit sehr verbreiteten biologischen unter einen Begriff gebracht werden kann, besser gebracht werden muß, somit mit ihnen wesensgleich ist. Wo ist also die tiefe Kluft zwischen Natur und Seele? Nur die Philosophie hat sie auf Grund eines gar nicht vorhandenen, in Wirklichkeit nur eingebildeten Tatbestandes gegraben, und die Naturwissenschaft hat der Metaphysik geholfen; bei vorurteilsloser Betrachtung der Wirklichkeit schließt sich die Kluft.

42. Auf die biologische Bedeutung der Neben-, Unter- und Ueberordnung der Begriffe, der Differenzierung und der Verallgemeinerung kann hier nicht eingegangen werden. Es ist die Aufgabe einer biologischen Psychologie und Logik. Oben (s. § 17) sind ja diese Dinge wenigstens gestreift worden. Hier mag nur noch kurz das Verhältnis von ‚Beschreiben‘ und ‚Erklären‘ festgestellt werden, das aus dem im vorhergehenden Erörterten folgt.

Unter ‚Erklären‘ verstand man in den Naturwissenschaften bis zum Erscheinen von Kirchhoffs Mechanik im Jahre 1874 Zurückführung aller Vorgänge auf mechanische, auf Bewegungsvorgänge von Molekülen und Atomen, und zwar unter Zugrundelegung der Theorie von den Zentralkräften, diese Kräfte als immaterielle metaphysische Substanzen gedacht. Mach hatte schon vor Kirchhoff dieselbe Forderung erhoben: die ökonomische Darstellung des Tatsächlichen, also die Vorgänge „vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben“, und während Kirchhoff sich von der Metaphysik des Kraftbegriffs nur erst teilweise losgemacht hatte, ging Mach sofort grundsätzlich gegen alle Metaphysik vor. Von der alten ‚Erklärung‘ blieb nichts mehr übrig. Aus Mißverständnis warf man dann Mach vor, er wolle überhaupt von Erklären nichts mehr wissen. Für Mach aber war die ‚Erklärung‘ in der ‚Beschreibung‘ eingeschlossen, wie gelegentlich schon für Robert Mayer, auf dessen nachher sehr bekannt gewordene Aeußerung er hinwies: „Ist einmal eine Tatsache nach allen Seiten hin bekannt, so ist sie damit erklärt, und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendet.“ Später (1888) stellte Richard Avenarius die Forderung der Beschreibung für Psychologie und Erkenntnistheorie auf und führte seinen Grundsatz in seinen Hauptwerken so durch, daß schon von selbst — nämlich durch strenge Durchführung der Absicht, nur zu beschreiben, zu konstatieren, festzustellen, was tatsächlich vorliegt — daß dadurch schon alles Metaphysische ausgeschlossen blieb: es war ja in den Tatsachen nicht vorhanden: stellte man also nur das wirklich Vorgefundene fest, so mußten alle die grundlosen metaphysischen Zusätze wegbleiben. Die Forderung und Durchführung des ‚Beschreibens‘ bedeutet somit die Beseitigung der Substanzvorstellungen, der ‚Materie‘, der ‚Seele‘, der ‚Kräfte‘, des ‚Bewußtseins‘, des ‚Ichs‘, der ‚Entelechien‘, ‚Dominanten‘, ‚elementaren psychischen Naturfaktoren‘, des ‚Physischen‘ und des ‚Psychischen‘ überhaupt.

Was unter ‚Beschreiben‘ nun positiv zu verstehen ist, das läßt sich nach den obigen Darlegungen über die Begriffe leicht sagen: ‚Beschreiben‘ ist Charakterisieren des Vorgefundenen durch Begriffe — wie die Mondbahn von Newton dadurch ‚begriffen‘ wurde, daß er sie als Bahn eines geschleuderten Steins charakterisierte. In solcher Charakterisierung liegt zugleich eine Zurückführung eines noch Unbekannten auf

Digitized by Google

Bekanntes und damit eine Aufklärung, eine ‚Erklärung'. Die ‚Erklärung' besteht darin, daß auf das Unbekannte durch seine Unterordnung unter Bekanntes der Charakter der Bekanntheit übertragen wird.

Das Beschreiben besteht aber nicht nur im Charakterisieren durch Begriffe, sondern auch in der Feststellung der zwischen solchen Begriffen geltenden Beziehungen, also in der Systematisierung, Anordnung des Tatsachenmaterials und ganz besonders in der Aufstellung von Gesetzen, von quantitativen Beziehungen der betreffenden Begriffe für die betreffende Gruppe von Vorgängen, und ebenfalls in der systematischen Gliederung der Gesetze, schließlich in ihrer mathematischen Deduktion aus obersten allgemeinen Gesetzen, wie etwa alle Sätze der Mechanik aus dem Hamiltonschen Prinzip oder aus Gauß' Prinzip des kleinsten Zwanges deduziert werden können. Zu solchen obersten Gesetzen kann man aber nur von unten gelangen, sie sind Enden, nicht Anfänge von Entwickelungen. Fruchtbare Naturwissenschaft muß immer mit der Induktion beginnen und kann erst in zweiter Linie sich der Deduktion bedienen. Diese ist dann aber kein geringerwertiges Forschungsmittel, sondern von der gleichen Bedeutung wie die Induktion, nur muß sie in letzter Linie ihre Bestätigung immer in den induktiv gefundenen Sätzen finden.

43. Aus alledem ergeben sich nun auch leicht die Methoden der Naturwissenschaft. In der Hauptsache gibt es deren nur zwei: Vergleichen und Variieren: Vergleichen der Dinge und Vorgänge, aber auch der so gefundenen Begriffe und Gesetze und dadurch Emporsteigen zu höheren und allgemeineren Begriffen und Gesetzen; Variieren der Umstände, der Bedingungen eines Vorgangs, also Experimentieren. Alles andere, Sammeln, Bauen von Meßinstrumenten und anderen Apparaten, Entwickeln von Meßmethoden, dann von mathematischen Methoden für die physikalischen Theorien, Aufstellen von Arbeitshypothesen usw. sind Hilfsmethoden für jene beiden obersten.

Wie geschieht das Vergleichen? Man betrachtet verschiedene Dinge, Vorgänge, Begriffe, Gesetze, Formeln und erblickt an ihnen Aehnlichkeit, die dann im Gegensatz zu einem Korrelativen zur Bezeichnung gelangt: so ist ein neues Begriffspaar gefunden oder ein alter Begriff auf einen neuen Gegenstand oder Vorgang ausgedehnt worden. Dem Erschauen des Aehnlichen können wir nicht gebieten: es ist ein ‚Geschenk der Phantasie', die psychologische Abhängige der Reaktion des Hirnmantels auf die betreffenden Reize, eben jener originale Vorgang der Begriffsbildung, der mit der einheitlichen Beantwortung ganzer Reizgruppen durch reflexartige Aenderungen im Protoplasma wesensgleich ist.

Durch das Variieren der Umstände ermittelt man, welche derselben in eindeutigem Zusammenhange stehen und welches dieser ist. Voraussetzung dafür sind die Maßbegriffe. Das sind Begriffe, die zahllose Einzelzustände der Körper und des Raumes umfassen; diese Einzelzustände lassen sich nach dem Muster der natürlichen Zahlenreihe ordnen. Statt zu sagen, das Potential eines Körpers könne unendlich viele Werte annehmen, würde man erkenntnistheoretisch einfacher sagen: ein Körper kann unendlich viele Potentiale haben, und diese lassen sich in eine bestimmte Reihe bringen.

Wir können hier nicht auf das Wesen des Versuchs, auf seine Entstehung durch Fragestellung, sein Verhältnis zur Theorie, seinen Verlauf und seine Beurteilung näher eingehen. Nur noch eine kurze Bemerkung über das Gedankenexperiment. Es scheint von nicht geringerer Bedeutung als das Sachenexperiment zu sein. Fortschritte von größter Bedeutung sind durch dasselbe erzielt worden. Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre wurde auf Grund des Carnotschen Gedankenexperiments des umkehrbaren Kreisprozesses gefunden, und Robert Mayers Entdeckung des mechanischen Aequivalents der Wärmeeinheit könnte man ein nachträgliches Gedankenexperiment mit den lange vorher gefundenen Größen der spezifischen Wärmen eines Gases bei konstantem Druck und konstantem Volumen nennen. Eigentlich ist das Denken des Forschers — nicht minder das des Technikers, Künstlers, überhaupt jedes Schaffenden — ein fortwährendes Experimentieren, nämlich Variieren in Gedanken, und das Sachenexperiment verhält sich zu solchen vorangehenden Ueberlegungen vielleicht nur wie der Krieg zu den vorhergehenden Verhandlungen der Diplomaten: es ist ebenfalls ultima ratio und schafft eine neue Gewißheit.

Jedenfalls ist das Experiment nicht eine Methode, durch die die Naturwissenschaft in prinzipiellen Gegensatz zu anderen Wissenschaften gebracht werden könnte, auf deren Gebiet ein Sachenexperiment nicht möglich ist. Ueberhaupt ist die Methode der naturwissenschaftlichen Forschung nicht eine an ihre herkömmlichen Gegenstände gebundene. Andere Wissenschaften haben vielmehr ihre Methoden des Vergleichens und Variierens übernommen: die Naturwissenschaften waren nur die ersten, die sie in hohem Maße und mit großem Erfolge ausbildeten.

Mit solchen Gedanken sehen wir uns nun noch vor unsere letzte hier zu behandelnde Frage gestellt: worin liegt denn

Digitized by Google

überhaupt der Unterschied zwischen Natur- und anderen Wissenschaften? und welches ist der Begriff der Natur?

III. Der Begriff der Naturwissenschaft.

44. „Wenn wir eine Erklärung über irgendeine außerordentliche Erscheinung oder Eigenschaft der Körper geben, so tun wir dies immer dadurch, daß wir zeigen, daß sie im Grunde nicht so außerordentlich, noch so sehr wenig mit irgendeinem anderen schon bekannten Dinge verknüpft sei: sondern daß eine Verbindung zwischen derselben und anderen Dingen stattfinde... Allein die Scheidekünstler, welche ihre Aufmerksamkeit lediglich auf die Chemie wendeten, waren großenteils mit dem übrigen Teile der Welt ganz unbekannt und wie fremd. Sie konnten daher nicht chemische Tatsachen dadurch erklären, daß sie eine Aehnlichkeit zwischen ihnen und anderen besser bekannten Dingen zeigten." (Black, Vorlesungen I, S. 323. Angeführt bei Mach, Wärmelehre S. 179f.). Diese vor anderthalb Jahrhunderten gesprochenen Worte eines Forschers von hohem Rang, des vorurteilslosen, ungewöhnlich hell blickenden Black, der an den alltäglichsten Dingen bedeutende Entdeckungen machte, können uns noch heute zur heilsamen Lehre dienen, im besonderen der großen Zahl der Psychologen und Erkenntnistheoretiker. Diese richten ihre Aufmerksamkeit auf die rein psychologischen Tatsachen, so sehr, daß sie nicht nur nicht deren Aehnlichkeit mit biologischen wahrnehmen, sondern noch nicht einmal die von Avenarius handgreiflich gezeigte Uebereinstimmung der beiden Gebiete nachzudenken und nachzufühlen vermögen. Trotzdem sie Berkeley im Prinzip recht geben, fühlen sie doch noch das biologische und das psychologische Geschehen wie Heterogenes und verstehen die Aehnlichkeit zwischen dem Erkenntnisprozeß und den Reflexen nicht. Vitalreihe und Tendenz zur Stabilität sind Begriffe, die für beide Gebiete gelten, die Aehnlichkeit zwischen den Begriffen und den einheitlichen biologischen Reaktionen auf ganze Gruppen von Reizen haben wir noch eben hervorgehoben, und die funktionelle Abhängigkeit, in der wir physikalische Größen untereinander finden, gilt auch zwischen biologischem und psychologischem Geschehen, nur daß hier, was da in funktionellem Zusammenhang steht, weder auf dem einen noch dem anderen der beiden Gebiete meßbar ist (s. o. § 18): aber gerade hierin — in dieser Nicht-Meßbarkeit — besteht wieder Uebereinstimmung.

Daraus geht deutlich hervor, daß weder in der Art der Verknüpfung der psychologischen Komplexe untereinander noch in der ihrer Verbindung mit biologischen Prozessen ein Grund gefunden werden kann, die Psychologie von den Naturwissenschaften zu trennen. Noch mehr! Die Wissenschaft wird immer danach streben, über die Regeln hinaus zu den Gesetzen vorzudringen, durch die sie ermöglicht werden: sie will das Geschehen als eindeutig bestimmtes begreifen. Da aber für die Psychologie die eindeutige Bestimmtheit ihrer Vorgänge nur in der Biologie des Hirnmantels gefunden werden kann, so ist die Folgerung nicht abzuweisen, daß die Psychologie schließlich unter die biologischen Wissenschaften eingereiht werden muß.

45. Aus unseren früheren Betrachtungen aber (29 bis 34) folgt, daß aus der Qualität der Gegenstände der Psychologie kein Einwand gegen jene Einordnung abgeleitet werden kann. Denn die Elemente, in die wir die Dinge der Natur erkenntnistheoretisch zerlegen müssen (s. § 24), sind ja zugleich psychologische Qualitäten. Die Dinge bestehen zuletzt für uns aus Farben, Formen, Härtegraden usw. und aus nichts anderem. Dieselben Elemente gehören also der ‚Natur' und der ‚Seele' an.

Dabei erinnern wir uns, daß es unlogisch ist zu fragen, was denn nun das Wesen jener Elemente selbst sei. Sie sind weder materiell noch geistig, weder physisch noch psychisch, weder bewußt, noch unbewußt, weder lebendig noch tot. Für sie gibt es in ihrer Gesamtheit überhaupt kein Prädikat, weil sie keiner Gesamtheit außerhalb ihrer mehr gegenübergestellt werden können. Es gibt für sie keinen kennzeichnenden Begriff, weil der Gegenbegriff fehlen würde. Sie sind eben Elemente, letzte, nicht weiter auflösbare Tatsachen, und letzte Tatsachen sind als Gesamtheit immer ‚unbegreiflich', was nichts anderes heißt als: sie können keinem Begriff mehr untergeordnet, nicht mehr begrifflich charakterisiert werden; wir können uns ihnen gegenüber nur als Schauende, Lauschende, Erlebende, darauf Hinweisende, verhalten, nicht mehr als Beschreibende. Wir können dem Blinden, dem völlig blind Geborenen keinen ‚Begriff' von der Farbe geben noch von dem Licht, noch von dem optischen Raum.

Mit der Bezeichnung ‚Elemente' sind jene letzten analytischen Tatsachen natürlich nicht qualitativ charakterisiert. Der Begriff ‚Elemente' findet auf sie nur in Korrelation zu dem Begriff ‚Komplexe' Anwendung. Als ‚Elemente' sind sie eben nur Einfaches im Gegensatz zum Zusammengesetzten. Dadurch wird über ihr ‚Wesen' so wenig ausgemacht wie über das der Welt durch die Bezeichnung ‚Welt'.

Digitized by Google

Sind wir durch die geschichtliche Entwickelung schon lange gewöhnt, die erkenntnistheoretischen Elemente der Dinge unserer Umgebung und unseres eigenen Körpers auch unter die Gegenstände der Psychologie und damit unter die seelischen Elemente zu rechnen — in welchem Zusammenhang sie den besonderen Namen ‚Empfindungen' führen —, so werden wir uns nun auch daran gewöhnen können, jedes seelische Element, also selbst jeden flüchtigsten Gedanken, jede leiseste Stimmung, jeden abstraktesten Begriff als Gegenstand der Naturwissenschaft und damit auch als Gegenstand, als Teil der Natur selbst zu betrachten. Wir müssen uns nur immer gegenwärtig halten, daß wir nach Aufhebung der Substanzvorstellungen keinen Grund finden können, die Psychologie den Naturwissenschaften als eine andersartige Wissenschaft, als Wissenschaft mit anderen Methoden oder heterogenem Inhalt gegenüberzustellen. Reihen wir sie also unter die Naturwissenschaften ein, dann müssen wir auch alles Psychologische als zur Natur gehörig betrachten. Oder anders gewendet: wir müssen unseren Begriff von der Natur so erweitern, daß er alles, was bisher als Gegenstand der Psychologie angesehen wurde, mit umfaßt.

Wir zählen also alle nicht weiter auflösbaren psychologischen Werte, alle psychologischen Elemente auch zu den Elementen der Natur. Auch höchste geistige Werte wie die Begriffe sind solche Elemente — die psychologischen Begriffe im Gegensatz zu den logischen (s. S. 81). Neu entstehende Begriffe sind somit Neubildungen der Natur, wie es in der Erdgeschichte neu entstehende Arten gewesen sind und vielleicht hier und da noch sind, und wie einst die Farbenempfindung und die Tonempfindung solche Naturschöpfungen waren — alle diese psychologischen Gebilde im funktionellen Zusammenhang mit den betreffenden nervösen Zentralorganen.

46. Unter den Begriffen verdient einer in dem dargelegten Zusammenhang unsere besondere Aufmerksamkeit, weil gerade er ein starkes Hindernis gewesen ist und noch ist, Natur und Seele zu verknüpfen. Das ist der Ichbegriff.

Ist denn aber das Ich ein Begriff und nicht vielmehr ein allen anderen psychologischen Werten gegenüberstehender besonderer, einzigartiger, mit keinem zweiten unter denselben Begriff fallender?

Erinnern wir uns zunächst, daß es keinerlei geistige Substanz, kein geistiges Substrat gibt, keinen Träger der seelischen Erlebnisse und nichts absolut Beharrendes im Fluß der seelischen Ereignisse. Jedes psychologische Erlebnis ist nur so lange vorhanden, wie es erlebt wird, nicht länger als der biologische Prozeß im Zentralnervensystem, von dem es abhängt, und ist relativ wiederholbar.

Ferner: wir sind uns auch im wachen Zustande keineswegs immer unseres ‚Ichs' bewußt, ohne doch sagen zu können, daß wir in solchen Momenten oder kurzen Zeitabschnitten der ‚Selbstvergessenheit', ‚Versunkenheit', des ‚Vor-sich-hinträumens' und wie sie noch bezeichnet werden mögen, gar nichts erlebt hätten. In solchen Augenblicken fehlt jene eigenartige Beleuchtung oder Charakterisierung des seelischen Inhalts, die wir eben das Bewußtsein davon nennen, daß wir das alles erleben. Aber auch bei voller geistiger Tätigkeit kann das Bewußtsein unser selbst zurücktreten: wir sind dann ganz an den Gegenstand hingegeben, denken gar nicht mehr an uns, vergessen manchmal ganz ‚wo wir sind'. Ja, ein solches Zurücktreten unseres Persönlichkeitsbewußtseins, der Beachtung unser selbst ist oft genug geradezu Bedingung dafür, daß der Fluß der auf ein Ziel gerichteten Gedanken nicht abgelenkt oder unterbrochen wird, daß der Gedanken Blässe unser Handeln nicht beeinträchtigt usw.

Das Ichbewußtsein ist also etwas Variierendes oder genauer: es gibt eine Mannigfaltigkeit von psychologischen Zuständen, die wir als in verschiedenen Graden mit Ich-Bewußtsein oder Ich-Gefühl behaftet bezeichnen dürfen; wir charakterisieren unsere Erlebnisse in verschiedenen Graden als unsere, wir haben gewissermaßen eine ganze Anzahl von Ichwerten zur Verfügung, die je nachdem den übrigen Erlebniskomplexen als Komponenten hinzugefügt werden und die sich, wie so viele andere psychologische Werte, in eine Reihe ordnen lassen.

Das ‚Ich' oder im allgemeinen wohl besser: das ‚mein', ‚zu mir gehörig', ‚von mir ausgehend' usw. ist also eine gefühlsartig auftretende Komponente des Erlebten, Erfahrenen, Vorgefundenen. Ganz wie das die Begriffe sind — die psychologischen Begriffe. Und übrigens sind auch diese der Steigerung zugänglich. Es kann uns etwas dunkler oder heller, unklar oder klar, nur halbverstanden oder völlig deutlich sein usw., je nachdem der betreffende Begriff in schwächerem und unvollkommenerem oder stärkerem und vollkommenerem Grade auftritt. Erinnern wir uns der Entwickelung unseres Ichgefühls im Laufe unseres Lebens, so werden wir diese Stufen wiedererkennen. Die höchsten, schon ans Pathologische grenzenden finden wir bei den Ich-Philosophen und jenen Aestheten, die geradezu über das allzu helle Licht des Bewußtseins, das Schmerzende ihrer Hellsichtigkeit klagen; die niedersten bei Kindern, einfachen Leuten

aus dem Volk und oft bei jenen ‚Unpraktischen‘, die einer Kunst, einer Wissenschaft ganz hingegeben, kein Auge für etwas anderes und keins für sich selbst haben; dann aber auch bei jenen seltenen ‚selbstlosen‘ Naturen, die nur in der Fürsorge für andere ihr Glück finden.

In diesen Zusammenhang gehört der neuerdings, wie es scheint, zu wenig beachtete Unterschied, den eine ältere Psychologie zwischen ‚Bewußtsein‘ und ‚Selbstbewußtsein‘ machte. Das ‚Bewußtsein‘ dürfte an ein gewisses Mindestmaß begrifflicher Charakterisierung überhaupt gebunden sein, während das ‚Selbstbewußtsein‘ eben jene Ich-Komponente verlangt. (Das hier Gegebene ist eine Weiterentwickelung der Gedanken, die sich in des Verfassers Einf. I, S. 133ff., II, S. 314ff. finden.)

Aus alledem dürfte sich ergeben, daß wir das ‚Ich‘ als einen Begriff anzusehen haben, der zwar eine besondere, zentrale psychologische Stellung unter allen Begriffen einnimmt, aber ihnen, logisch genommen, zuletzt doch gleichartig ist. Keinesfalls darf es als etwas Einzigartiges im ganzen psychologischen Befund angesehen werden, das uns etwa zu einer besonderen, auf dasselbe gegründeten Weltanschauung nötigen könnte.

Unsere Auffassung wird bestätigt, wenn wir das Ich abzugrenzen versuchen. Dabei verfährt man genau so wie bei der Abgrenzung anderer Begriffe. Man stellt das ‚Ich‘ allem gegenüber, im Gegensatz zu dem es eben das ‚Ich‘ ist; das ist einmal der Umgebung und dann dem ‚Du‘, den ‚anderen‘. Und weiter sucht man nach ähnlichen Komplexen, wie wir es oben getan haben; als diese ähnlichen erwiesen sich eben die Begriffe.

47. Wir brauchen diese Betrachtungen wohl nicht weiter fortzusetzen, um unser obiges Ergebnis auch hier bestätigt zu finden: auch das ‚Ich‘ ist ein Stück Natur. Wir selbst mit unserem Leib und unserer ‚Seele‘ — mit der Gesamtheit unserer seelischen Bestände, aller unserer Erinnerungen, unserer Begriffe usw. — gehören zur Natur, sind ein Stück Natur. In unserer Entwickelung beobachten wir Naturentwickelung, in unserem Schaffen das Schaffen der Natur. Mit uns selbst, mit unserem unmittelbar erlebten ‚geistigen‘ Sein und Tun sind wir im „Innersten der Natur“. Was Goethe intuitiv besaß, was er schaute, das besitzen wir nun diskursiv, in begrifflicher Auseinanderfaltung. Wir sehen jetzt deutlich, wie recht er mit seiner Ansicht hat, daß der Kern der Natur den Menschen im Herzen ist. Die Analyse des Vorgefundenen hat es bewiesen.

Sind aber alle Elemente der Seele zugleich Elemente der Natur, weisen wir alles Seelische der Natur zu, wie können wir da den Begriff Seele überhaupt noch aufrecht erhalten? Was soll er dann noch bezeichnen? Und wenn wir ihn in dem der Natur aufgehen lassen, den der Natur also so erweitern, daß er den der Seele mit umfaßt, was bezeichnet dann noch der Begriff Natur? Fällt der eine, dann muß auch der andere fallen, denn die beiden sind korrelative Begriffe. Oder Natur würde nichts anderes mehr bedeuten als die Gesamtheit des Vorgefundenen, die Welt, und das würde wieder nur heißen, daß mit Natur nichts Besonderes mehr gekennzeichnet würde. Müssen wir also die beiden Begriffe fallen lassen oder können sie noch ungezwungen einen Unterschied, der sich uns aufdrängt, bezeichnen? Ich will versuchen, das letztere nachzuweisen.

Sicher ist, daß Natur und Seele nicht mehr verschiedene Teile der Wirklichkeit sein können. Das wurde sowohl durch die Aufhebung der Substanzvorstellungen widerlegt als auch dadurch, daß alle erkenntnistheoretischen Elemente der Dinge zugleich als psychologische Elemente, aber auch alle psychologischen Elemente zugleich als Elemente der Natur gelten mußten.

Ebensowenig aber dürfen wir Natur und Seele etwa als zwei verschiedene Seiten des Wirklichen ansehen. Das würde nichts viel anderes heißen als auf Spinozas Lehre von den beiden Attributen der einen Substanz zurückkommen. Mit der Substanz ist auch die Zweiseitentheorie unmöglich geworden, obwohl sie immer wieder in psychologischen Lehrbüchern und Darstellungen auftaucht. Wir wissen in Wirklichkeit nichts von zwei Seiten, nehmen niemals unterschiedene Seiten wahr, sondern immer nur Elementenkomplexe, an oder hinter denen keine noch so sorgfältige Beobachtung noch ein Zweites finden kann. Wir können nicht von innen und nicht von außen beobachten und erleben auch niemals zweierlei heterogene Wirklichkeiten. Immer finden wir nur Elementenkomplexe mit anderen in funktionellem Zusammenhang.

Lassen sich aber auch die Elementenkomplexe nicht in zwei verschiedene Teile trennen und lassen sie auch nicht zwei verschiedene Seiten an sich erkennen, so hat es trotzdem seinen guten Sinn, von Natur und Seele zu sprechen. Wir werden die erlebten Elementenkomplexe als der ‚Natur‘ zugehörig betrachten, soweit wir sie als eindeutig bestimmt ansehen und als der ‚Seele‘, im besonderen als ‚unserer Seele‘ zugehörig, soweit wir sie nehmen, wie sie kommen und gehen, unabhängig davon, ob sie einander bestimmen oder nicht. Durch

Digitized by Google

diese Definition werden Natur und Seele nur als zwei Gebiete von verschiedener Betrachtungsweise geschieden. Nicht inhaltlich unterscheiden sie sich, sondern nur der Form nach, d. h. der Charakterisierung, der begrifflichen Charakteristik nach. Dieselben Elementenkomplexe gehören, als eindeutig bestimmte charakterisiert, der ‚Natur‘ an, sind Natur; dieselben, ohne einen anderen Zusammenhang genommen, als in dem sie gerade auftreten, gehören der ‚Seele‘ an, sind ‚seelische Erlebnisse‘, setzen ‚meine Seele‘ zusammen.

Das ist eine Begriffsbestimmung, die das Wesentliche der modernen Begriffe von Natur und Seele in sich aufgenommen hat. Denn das Wesentliche am modernen Naturbegriff ist doch wohl, daß er die Gesetzmäßigkeit des Geschehens ins Auge faßt, an dem der Seele aber — wie wir ihn etwa in den guten Werken der Dichtkunst, überhaupt aller Kunst lebendig sehen können —, daß er alle Regungen und Stimmungen, alle Nüancen der Empfindungen, alle die zahllosen, immer wieder anderen affektiven, ethischen, ästhetischen, logischen Werte gerade in der Mischung berücksichtigt, in der Mannigfaltigkeit ihres Auftauchens und Schwindens und Nachklingens, in der sie eben erlebt werden. (Vgl. hierzu Petzoldt, Einf. II, S. 312, 327f.)

48. Aber noch ein zweiter wichtiger Gegensatz kommt in unseren Definitionen von Natur und Seele zum Ausdruck: die Unabhängigkeit des Naturgeschehens von unserer Individualität und die Abhängigkeit der seelischen Vorgänge von ihr.

Die Dinge sind Elementenkomplexe. Sie bestehen aus rot, grün, hart, glatt, rauh, spitzig, so und so gestaltet usw., und außer diesen Qualitäten ist an ihnen nichts, kein Träger und kein in der Veränderung absolut Beharrendes. Nun gibt es aber keine Farbe und optische Gestalt ohne Auge, keine Rauhigkeit und Glätte und tastbare Gestalt ohne Tastsinn und kinästhetische Sinnesorgane, wie es keine Wärme ohne Temperatursinn und keine Töne und Geräusche ohne Gehörorgan gibt. Somit scheint der Schluß unausweichlich, daß es keine Dinge ohne die Sinnesorgane gibt, daß die Welt in ihrem Sein von unserer Organisation, von unserer Individualität, von unserer Subjektivität abhängig ist; und da das anzunehmen unsinnig wäre, so scheint es weiter, daß wir nun doch hinter jenen Elementenkomplexen eine andere, eigentliche Welt annehmen müssen, der gegenüber die von uns erlebte schließlich doch nur Schein oder Erscheinung, eine nur sekundär existierende wäre.

Beide Schlüsse, so sehr sie an der Tagesordnung sind, sind falsch.

Daß wir überhaupt rot und grün empfinden, dafür liegen allerdings die Bedingungen in unserer Organisation, denn manche empfinden überhaupt nicht rot und grün, sondern nur blau und gelb. Aber daß wir gerade jetzt und hier etwa die rötlichgelben Apfelsinen in der Schale vor uns haben, das ist nicht mehr in unserer Organisation überhaupt begründet, sondern hat außerhalb und zum Teil der Zeit nach vor dieser gelegene Bedingungen, die wir sehr wohl beschreiben können. Kann diese Beschreibung wieder nur mit den auf unseren Sinnesqualitäten beruhenden Begriffen gegeben werden, so folgt daraus nur, daß wir mitten in unaufhebbaren Relationen stehen, niemals aber, daß hinter den Dingen eine absolute Welt existiere, von einem höheren Wirklichkeitsgrad und -wert als die uns zugängliche, von uns vorgefundene.

Die Tatsachen berechtigen uns nur zu dem Satz, daß wir selbst ein Stück Welt sind, in sie, in ihre Gesetze verstrickt. Darin ist schon ausgesprochen, daß die Welt von uns abhängig und auch von uns unabhängig ist. Die Farben und Formen hängen vom Auge ab. Aber Farben, Formen und Auge zusammen sind unabhängig. Die Glieder einer Relation hängen voneinander ab, die gesamte Relation aber, das funktionelle Zusammen ihrer Glieder ist nicht mehr Funktion eines dieser Glieder. Stehen wir und die übrige Welt in Relation zueinander, so ist die Welt von uns und wir sind von der Welt funktionell abhängig, wir und die übrige Welt zusammen aber sind nicht mehr von uns, dem einen Teil der Relation, abhängig.

Die Qualitäten, die erkenntnistheoretischen Elemente sind Funktionen von Ganglienzellenvorgängen der Hirnrinde, d. h. Funktionen von Dingen und Vorgängen, die wir aus eben solchen Elementen bestehend vorfinden und umgekehrt. Das ist die unaufhebbare Relation, in der wir stehen.

Die Qualitäten aller Dinge sind also an eine gewisse Verknüpfung eben solcher Qualitäten besonderer Dinge — der Ganglienzellen — gebunden, an die Verknüpfung, durch die eben die Ganglienzellen das sind, was sie sind. Dadurch werden aber alle diese Qualitäten nicht zu Schein oder Erscheinung, sondern sind wie jene Relation vollste Wirklichkeit, nur freilich keine absolute, sondern relative: mit Aenderung der betreffenden Ganglienzellenstrukturen oder -prozesse ändern sich die Qualitäten. Diese Relativität ist es, die wir kurz mit Abhängigkeit der Welt von uns bezeichnet haben. Das ist aber nicht die Abhängigkeit, die der erkenntnistheoretische Idealist lehrt, für den die Welt Vorstellung oder Erscheinung ist, Erzeugnis des Subjekts. Ein

Digitized by Google

solches Subjekt gibt es überhaupt nicht, ist nicht nachweisbar. Das ‚Ich' besteht aus ebensolchen Elementen wie alles übrige, was wir vorfinden, besser: was sich vorfindet. Abhängigkeit ist für unseren Standpunkt nie etwas anderes als gegenseitige, funktionelle Abhängigkeit, als Relation.

Während die Qualitäten der Dinge Glieder von Relationen sind — von der Struktur nervöser Gebilde abhängig sind —, sind diese Relationen und die eindeutigen Relationen überhaupt normalerweise nicht wieder Glieder solcher Hirnrelationen, wie ich es einmal kurz bezeichnen will. Das ist der Inhalt dessen, was wir oben (S. 88) die Unabhängigkeit der Welt von unserer Individualität genannt haben. Wir können auch sagen: die Arten der Relationen, in denen wir die Qualitäten vorfinden, und die Qualitäten selbst, die wir als Glieder solcher Relationen erfahren, sind voneinander relativ unabhängig, d. h.: wir können uns in denselben Relationen ganz andere Qualitäten und dieselben Qualitäten in ganz anderen Relationen denken. Man beachte aber, daß diese Unabhängigkeit nur relativ ist. Relationen ohne alle Qualitäten sind undenkbar. Und: das relative Variable an den Weltbildern sind die Qualitäten, das Konstante die Relationen.

49. Halten wir dieses Ergebnis fest und ist es uns gelungen, die Substanzvorstellung auch in ihren letzten Ausläufern zu überwinden — unsere Begriffe von Natur und Seele haben diese vollständige Beseitigung zur Voraussetzung —, so wird es uns nun auch nicht schwer werden, den letzten wichtigen Schritt zu tun. Kurz gesagt, besteht es in der Einsicht, daß es keine absoluten Qualitäten gibt, anders gesagt: daß es keine ausgezeichnete Qualitätenwelt gibt.

Wir sahen, daß Relationen ohne irgendwelche Qualitäten nicht gedacht werden können; wir bemerken ja die Relationen — die funktionellen Zusammenhänge — nur an den Qualitätenkomplexen — Elementenkomplexen —, die unsere Erfahrung zusammensetzen, und wenn auch der Begriff der Relation oder des funktionellen, eindeutigen Zusammenhanges als Begriff von den Inhalten der Relation absehen kann, so doch nie der Gedanke an die einzelne wirkliche Relation. Anderseits können wir das ganze System von Relationen, das wir erfahren, sehr wohl an ein ganz anderes System von Elementen, als die unseren sind, gebunden denken. Wir brauchen uns da gar nicht erst an die seltenen Fälle zu erinnern, in denen ein Individuum mit dem einen Auge die ganze Farbenskala wahrnehmen kann, während es auf dem anderen rotgrünblind ist. Denn jeder kann an sich selbst erfahren, daß ein und dasselbe Relationssystem mit zwei verschiedenen Qualitätensystemen erfüllt ist: dieselben Relationen der Geometrie finden wir sowohl an den optischen als auch an den taktilokinästhetischen Elementenkomplexen vor, können sie aber ebensogut auf irgendein anderes System, etwa ein algebraisches Zeichensystem übertragen. (Hilbert, Die Grundlagen der Geometrie, 3. Aufl., Leipzig 1909.)

Das Relationssystem der Welt, das wir an unseren Elementenkomplexen erfahren, können wir somit an unendlich viele andere Systeme solcher Komplexe gebunden denken. Nirgends aber finden wir eins derselben durch irgendwelchen logischen Vorteil vor den anderen ausgezeichnet. Jedes ist logisch jedem anderen gleichwertig und gleichberechtigt.

Das ist eine neue Seite des allgemeinen Relativitätsprinzips. Wir können sie als den Satz von der Indifferenz des Relationssystems gegenüber allen denkbaren Qualitätensystemen bezeichnen. Ordnen wir dem Relationssystem der Welt eindeutig ein beliebiges anderes Elementensystem zu, als das uns gegebene, so würden sich die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung von den gegenwärtigen nicht unterscheiden. Im besonderen könnten wir z. B. eine beliebige Gruppe optischer Qualitäten mit einer ebenso großen aus irgendeinem anderen Sinnesgebiet oder überhaupt aus der ganzen Mannigfaltigkeit der psychologischen Werte eindeutig vertauschen, an unserer naturwissenschaftlichen Erkenntnis würde damit nichts Wesentliches geändert.

Gäbe es also auch ein absolutes Qualitätensystem und wäre es uns irgendwie verliehen, damit bekannt zu werden, so würde das für die Wissenschaft nur von geringer Bedeutung sein. Und daraus ergibt sich wieder, daß unser wirkliches Elementensystem uns ganz dasselbe bietet wie die Erkenntnis der etwaigen absoluten Welt, der ‚Welt an sich'. Müssen wir uns also in Wirklichkeit auch nur mit relativer Wahrheit begnügen, so ist diese nicht geringer zu bewerten als die von ihren Anhängern vorausgesetzte absolute Wahrheit. Alles, was der Mensch an Einsicht gerechterweise verlangen kann, das wird ihm im Laufe der Entwickelung der Wissenschaft zuteil werden: sein Ringen nach Wahrheit wird voll belohnt werden. Denn Gegenstand der Naturwissenschaft sind die Relationen, die eindeutigen Beziehungen, die wir an den Elementen aufdecken. Naturwissenschaft ist Wissenschaft von den eindeutigen Bestimmtheiten in der ganzen uns zugänglichen Wirklichkeit.

50. Wer nach dem Wesen der Welt fragt in dem Sinne, daß er wissen will, was

Digitized by Google

und wie sie unabhängig von ihm und überhaupt von einem Wahrnehmenden sei, gibt mit dieser Frage prinzipiell den Standpunkt auf, auf dem er von Hause aus steht, und behält ihn doch zugleich wider seinen Willen bei. Denn am Anfang seines Denkens findet sich jeder inmitten einer Welt und all sein Fragen hat nur das Ziel, sein Verhältnis zu dieser Welt festzulegen, sich mit ihr ins Gleichgewicht zu setzen. Die Antworten, die er findet, enthalten immer ausgesprochene oder stillschweigende Relationen von Qualitätenkomplexen, und daher erwartet er auch — wenn er das auch nicht weiß — auf seine Fragen nie etwas anderes zu finden. Und mit Recht: wir können keinen Satz, keine Aussage denken, die anderes enthielte. Wer also trotzdem wissen will, wie die Welt ohne Qualitäten, ohne Relation zu einem Fragenden ist, der widerspricht sich selbst. Die Frage nach dem Wesen der Welt im obigen Sinne ist also auch dann noch unlogisch, wenn wir von dem anderen logischen Fehler, den sie enthält und von dem wir oben (31) gesprochen haben, absehen. Man kann immer nur von einem Standpunkt aus fragen, nie von keinem aus. Und die Geschichte zeigt sogar, daß man nur für die Fragen von einem Standpunkte aus auf haltbare Antworten zu rechnen hat, auf die Fragen von dem örtlichen Standpunkte aus, auf dem wir eben unaufhebbar stehen. (Rich. Avenarius, Der menschliche Weltbegriff. — Petzoldt, Das Weltproblem.) Immer ist er nur erfolglos verlassen worden, und im Grunde ohne daß man wußte, was man tat. Nie wurde ein haltbarer Beweis dafür geführt, daß man ihn verlassen müsse, ja, im strengen Sinne ist der Beweis gar nicht versucht worden, sondern man stellte sich immer gleich von vornherein auf einen anderen als jenen örtlichen Standpunkt. Die diesen allein gegebenen aber verließen, wanderten in das Traumland von tausend und einer metaphysischen Nacht, und die Träume, die sie bei ihrer Rückkehr erzählten, zerrannen einer nach dem anderen an dem hellen Tageslicht der Erfahrung.

Es ist Zeit, daß wir die metaphysischen Träumereien lassen. Die Naturwissenschaft kann nur die Wissenschaft von der einen Welt sein, in der wir mitten innen stehen, und ihre Ergebnisse können keine andere Bedeutung haben, als die Menschen innerhalb dieser Welt der erfahrbaren Tatsachen in eine möglichst sichere, störungsfreie, stabile Lage zu bringen. Lag der Ursprung der Naturwissenschaft in der Bedrohung von zentralnervösen Teilsystemen höchster Ordnung durch die von ihrer Umgebung ausgehenden Reize, so kann ihr Ziel nur die Behauptung jener höchsten biologischen Gebilde solchen Angriffen gegenüber sein (vgl. § 19). Diese Behauptung kann aber nie durch Bildung von Begriffen für Dinge und Vorgänge gelingen, die überhaupt nicht da sind. In Molekülen, Atomen, Aether, Elektronen, substantiellen Energien und Massen, in Dominanten und Entelechien usw. kann das Heil nicht liegen. Bestenfalls sind solche Erfindungen Hilfsmittel der Forschung — bei den vitalistischen Begriffen ist aber auch das nicht einmal der Fall —; für die endgültige Beschreibung der Wirklichkeit haben sie keinen Wert. So kann es aber auch kein ‚Welträtsel‘ mehr geben: die prinzipiell unbeantwortbaren Fragen sind logisch falsch gestellt, nur eingebildete Probleme.

51. Erinnern wir uns noch einmal kurz der gewonnenen Einsichten, so dürften wir in der Hauptsache zu folgenden Sätzen gelangen:

Die Substanzvorstellungen sind unhaltbar. — Der Gegensatz von Sein und Sinnenschein muß aufgehoben werden. Damit wird schon die Relativität aller Erkenntnisse ausgesprochen. — Innerhalb des Gebietes des psychologischen Geschehens fehlt die eindeutige Bestimmtheit. Damit ist bewiesen, daß die psychologischen Werte ausnahmslos in funktioneller Beziehung zu biologischen Vorgängen in der Hirnrinde stehen. Und hieraus folgt wieder, daß die Psychologie zu den Naturwissenschaften zu rechnen ist. — Alle Begriffe sind zuletzt korrelativ, Beziehungsbegriffe. Das ist ein weiteres Moment des Relativitätsprinzips. — Die Relationen, in denen wir alle Dinge finden, sind den Qualitätenkomplexen gegenüber, in die sich die Dinge auflösen lassen, indifferent — ein drittes Moment im Relativitätsprinzip. — Unser Standpunkt inmitten der Welt ist auch in Gedanken nicht aufhebbar. Die Naturwissenschaft hat eine biologische Bedeutung. — Die Frage nach dem Wesen der Welt ist unlogisch; es gibt kein Welträtsel mehr.

Diese Anschauungen lassen sich angesichts der geschichtlichen Entwickelung des Nachdenkens über die Welt am besten als relativistischen Positivismus charakterisieren: als Positivismus wegen der Ablehnung jeder Metaphysik, als relativistischen Positivismus wegen der Hervorhebung des ganz allgemeinen Relativitätsprinzips, das von den früheren positivistischen Richtungen — von Protagoras abgesehen — nur wenig beachtet, geschweige denn entwickelt worden ist. (Vgl. Petzoldt, Das Weltproblem.)

52. Wir haben die Abgrenzung des Begriffs Natur nach der des Begriffs Naturwissenschaft vorgenommen. Und die Definition des letzteren entnahmen wir aus

der lebendigen Naturwissenschaft selbst. Das Besondere, das die Naturwissenschaft in das Denken des Menschen eingeführt hat, ist die Ueberzeugung, daß alles, was an den Gegenständen ihrer Untersuchung geschieht, eindeutig bestimmt ist. Den Sinn dieser eindeutigen Bestimmtheit gewinnt man aus der Analyse der physikalischen Gleichungen, die der schärfste Ausdruck für die Ergebnisse der physikalischen Forschung sind. Wir sind also, unserem Vorhaben entsprechend, induktiv und empirisch vorgegangen.

Nun zeigte sich aber, daß die psychologischen Vorgänge keineswegs in einem prinzipiellen Gegensatz zu denen der Naturwissenschaft stehen, wie man das nach der historischen Entwickelung annehmen sollte. Vielmehr lassen sie sich bei näherem Zusehen von einer gewissen Gruppe von biologischen Vorgängen — wie sie die Nervenphysiologie aufgedeckt hat — gerade hinsichtlich der Art ihres Bestimmtseins nicht wesentlich unterscheiden. Da auch hinsichtlich ihrer Qualitäten eine absolute Grenze gegen die Qualitäten der naturwissenschaftlichen Gegenstände nicht zu ziehen war, mußte der Begriff Naturwissenschaft und also auch der Begriff Natur auf die psychologischen Vorgänge ausgedehnt werden.

Wir müssen nun noch aus dieser unerläßlichen Begriffserweiterung die Folgerungen ziehen.

Die sogenannten ‚Geisteswissenschaften' oder, wie man sie neuerdings — ob treffender, mag hier dahingestellt bleiben — zu charakterisieren sucht, die ‚Kulturwissenschaften' — politische Geschichte, wirtschaftliche und soziologische Geschichte, Kunstgeschichte, Aesthetik, Ethik, Sprachwissenschaften, Soziologie und Staatswissenschaften usw. — führen schließlich alle auf psychologische Regeln und Probleme zurück, stehen also zur Psychologie etwa in einem Verhältnis, wie Geographie, Geognosie, Geologie, Astrophysik, Paläontologie zur Physik, Chemie und Biologie. So gut wir nun Geographie usw. zu den Naturwissenschaften, müssen wir auch Geschichte usw. zu den psychologischen Wissenschaften rechnen. Da aber nach unserer Untersuchung Psychologie zur Naturwissenschaft gehört, so sind wir auch genötigt, alle jene ‚Geisteswissenschaften' schließlich zu den Naturwissenschaften zu zählen, also den Gegensatz, in dem Geistes- und Naturwissenschaften heute noch stehen, nicht als in der Sache selbst begründet anzusehen. Die Psychologie wird ja schon heute vielfach als Naturwissenschaft betrachtet. Je mehr sich diese Ansicht ausbreitet und befestigt, um so mehr muß auch jener Gegensatz schwinden.

Tatsächlich machen die ‚Geisteswissenschaften' heute da, wo sie den Nachdruck auf das Wissenschaftliche legen, und nicht etwa, wie z. B. vielfach noch die Geschichte mehr Vorarbeit, Sammlerarbeit für spätere Wissenschaft oder wie die Darstellung der politischen Geschichte mehr Kunst als Wissenschaft sind, zuletzt auch nichts anderes als die Naturwissenschaften: sie stellen Begriffe und ‚Gesetze' auf. Der einzelne Fall außer Zusammenhang mit gleichartigen anderen mag uns ästhetisch oder ethisch interessieren, wissenschaftliches Interesse bietet er nicht. Die Wissenschaft geht nur auf das Allgemeine. Jene Gesetze der ‚Geisteswissenschaften' sind freilich nur Regeln, und daher fehlt diesen Wissenschaften heute noch der typische Charakterzug der Naturwissenschaft, der Gedanke des ausnahmslosen Gesetzes, der eindeutigen Bestimmtheit. Je mehr sie aber ihre Fundamente in der Psychologie legen und je mehr diese Psychologie biologische Psychologie werden wird, um so mehr muß die Annäherung der anthropologischen Wissenschaften an die Naturwissenschaft erfolgen.

Daß die Geisteswissenschaften nicht experimentierten, könnte kein entscheidender Grund sein, sie als eine andere Art Wissenschaften anzusehen. Denn die Naturwissenschaften sind ebenfalls nicht durchaus experimentell, und anderseits ist den anthropologischen Wissenschaften das Experiment nicht völlig fremd. Pädagogische, organisatorische usw. Versuche werden tatsächlich ausgeführt; beim Militär bestehen ganze Versuchsabteilungen, im Schulwesen beginnen sie zu entstehen, volkswirtschaftliche und soziale Versuche werden schon zahlreich unternommen. Und das Gedankenexperiment, das ja auch für die Naturwissenschaften ein wichtiges Werkzeug ist, wird vom vergleichenden Historiker — einer freilich vorläufig noch seltenen Erscheinung — oder vom Volkswirtschafter, Soziologen usw. nicht weniger gehandhabt werden können.

Somit bedienen sich die anthropologischen Wissenschaften derselben beiden wesentlichen Methoden, denen die Naturwissenschaften ihre erstaunlichen Erfolge verdanken: des Vergleichens und des Variierens. Das sind eben die einzigen Methoden wirklicher Wissenschaft.

53. Rechnen wir nun aber die anthropologischen Wissenschaften den Naturwissenschaften zu, so stehen diese nur noch der Mathematik und der Philosophie gegenüber.

Daß zunächst die Geometrie eine Naturwissenschaft wie jede andere ist, kann nicht bezweifelt werden. Sie stellt in ihren Lehrsätzen lauter eindeutige Zusammenhänge

Digitized by Google

auf. Die Abhängigkeit etwa der Seiten und Winkel geometrischer Figuren voneinander unterscheidet sich in nichts von der gegenseitigen Abhängigkeit der physikalischen Bestimmungsmittel, wie sie in den Gleichungen der Physik ihren Ausdruck findet. Darum eben sind Trigonometrie und analytische Geometrie möglich, d. h. die Uebersetzung der geometrischen Zusammenhänge in Systeme von Gleichungen. Die Entwickelung der Geometrie zeigt die gleiche Verbindung von Induktion und Deduktion wie die Entwickelung der Physik. Die genialsten Geometer haben ununterbrochen in Gedanken oder auf dem Papier experimentiert, wie wir alle experimentieren, wenn wir geometrische Konstruktionsaufgaben lösen wollen, und oft genug haben sie ihre Lehrsätze, also ihre Gesetze gefunden, und waren von ihrer Richtigkeit überzeugt, ehe sie einen ‚Beweis' dafür hatten, d. h. noch ehe es ihnen gelungen war, sie auf bereits bekannte Sätze nach dem Satze des Widerspruchs zurückzuführen. Das ‚Beweisen' ist sehr häufig ein gänzlich Zweites neben der Gewinnung der Resultate und Ueberzeugungen und wird in unserem mathematischen Unterricht oft sehr überschätzt. Bedenken wir nur, daß wir das Fundament der Geometrie, die wir in unseren höheren Schulen lehren, den Satz von der Winkelsumme des ebenen Dreiecks überhaupt gar nicht beweisen können, daß der ‚Beweis' im Unterricht also gewöhnlich erschlichen wird. Wir müßten die Geometrie in der Schule weit mehr nach der Weise einer Naturwissenschaft treiben: viel zeichnen und variieren!

Nun sind allerdings die Voraussetzungen der Geometrie, ihre Grundbegriffe und Axiome willkürlich. Aber soweit die Geometrie auf eine beachtenswerte Wissenschaft Anspruch erheben und der Erkenntnis des Wirklichen dienen will, sieht sie sich genötigt, jene Grundannahmen so einzurichten, daß die Folgerungen daraus für die Naturwissenschaft und Technik brauchbar werden. Gewiß hat es einen guten Sinn, wenn sie auch andere Geometrien als die nächstgelegene bis zu einem gewissen Grade entwickelt, aber der letzte Maßstab für solche Forschungen muß doch noch für unabsehbare Zeiten hinaus immer die Möglichkeit sein, die gewonnenen Einsichten in den Dienst der Erkenntnis der wirklichen Welt zu stellen, zu der allerdings der Raumbegriff überhaupt ebenfalls gehört. So ist die Geometrie also praktische und auch theoretische Naturwissenschaft.

Was aber die außergeometrischen Gebiete anlangt, so gilt von ihnen nichts anderes. Sie dienen zuletzt der Erkenntnis der vorgefundenen Welt und liefern der theoretischen Naturwissenschaft und der Geometrie die Methoden der Deduktion. Die analytischen Ausdrücke geben in ihrer Verknüpfung der Maßzahlen der physikalischen Bestimmungsmittel deren eindeutige Zusammenhänge unmittelbar wieder. Im übrigen aber sind sie selbst das Material, an dem der Mathematiker wieder durch Vergleich und Variation Gesetze findet. Diese Gesetze liefern in ihren Ausdrücken immer wieder neuen Stoff zur Vergleichung und zum Experiment, und so steigt der Bau in sich selbst zu immer höheren Abstraktionen auf. Auch hier ist der Fortschritt nicht an den strengen Beweis gebunden, der gleich dem in der Geometrie oft genug erst wie der Treppenwitz nachträglich kommt. In welchem engen Bunde analytische Entwickelungen mit der Naturwissenschaft stehen, zeigt uns die theoretische Physik, und welche Höhen der Abstraktion dabei erstiegen werden können, ohne daß man doch den Boden der ermittelten Tatsachen aus den Augen zu verlieren braucht, das haben wir noch vor kurzem an Minkowskis Entwickelung des Einsteinschen Relativitätsprinzips gesehen.

Der Rationalismus hat die Mathematik um der Strenge ihres Beweisverfahrens willen zu einer Ausnahmewissenschaft gestempelt. In völligem Mißverständnis ihres Wesens, in vollständiger Verkennung ihrer entweder empirischen oder durch Definition willkürlich angenommenen Grundlagen von Begriffen und Axiomen sah er in ihr die Wissenschaft κατ' ἐξοχήν. Er ließ ihren Inhalt hinter der Form ihrer Systematik, wie Euklid sie vorbildlich gegeben hatte, zurücktreten und gestaltete den Unterricht in ihr in ganz unnötiger Weise schwierig, so daß heute in weiten Kreisen der Gebildeten durchaus verkehrte Auffassungen von ihrem Wesen und Inhalt bestehen. Das Konkrete, Greifbare, Sinnenfällige, das in den algebraischen Formeln nicht minder vorhanden ist als in den geometrischen Gestalten, wurde fast gänzlich vernachlässigt und der natürliche psychologische Prozeß ihres Wachstums durch den Glauben an ein psychologisch in der angenommenen Weise überhaupt gar nicht vorhandenes, in Wirklichkeit nur eingebildetes Schlußverfahren verdeckt. Welches Unheil diese Platonische Tradition über das europäische Denken gebracht hat, kann man an der Geschichte und dem Betrieb der Philosophie bis auf den heutigen Tag erkennen, obwohl die Liebe der heutigen Philosophen zur Mathematik gewöhnlich nur sehr Platonisch ist. Die außerhalb der Mathematik Stehenden begreifen oft nicht, welche Freude jene ‚trockene Wissenschaft' machen könne, während sie der Naturwissenschaft gegenüber ein gleiches Verwundern nicht an den

Digitized by Google

Tag legen. Sie wissen eben nicht, daß die Mathematik sich gar nicht wesentlich von der Naturwissenschaft unterscheidet. Und das wissen sie nicht, weil sie ihnen in ihrer Jugend oft nur in rationalistischer Einkleidung entgegengetreten ist.

Was bei der Mathematik verhältnismäßig so leicht ist, die Deduktion ihrer Sätze aus wenigen obersten Voraussetzungen, das ist auch das Ziel der Naturwissenschaften, wenigstens der Physik und Chemie. In der Mechanik ist es seit mehr als hundert Jahren in weitgehender Annäherung schon erreicht, und die Maxwellsche, die Elektronen- und die Relativitätstheorie sind weitere glänzende Beispiele für diese Tendenz der Naturwissenschaft, sich ihren Euklid zu verschaffen. Also auch hier besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen Mathematik und Naturwissenschaft. Aus dieser Gegenüberstellung kann man aber noch einmal entnehmen, wie verkehrt vielfach noch die Lehrweise im mathematischen Unterricht ist: sie würde einem physikalischen Unterricht gleichen, der etwa mit der theoretischen Mechanik oder der Relativitätstheorie begänne.

54. Ist selbst die Mathematik Naturwissenschaft, so stehen sich nun nur noch Naturwissenschaft und Philosophie gegenüber. Mit diesem Ergebnis würden vielleicht alle die einverstanden sein, die der Philosophie den sogenannten Einzelwissenschaften gegenüber das Allgemeine zuweisen, sie zur Grundlage und zum Gipfel aller Wissenschaft machen wollen. Wer aber eine solche Grenze zwischen Einzelwissenschaft und einer besonderen Wissenschaft ‚Philosophie' nicht anerkennen kann, wird fragen, ob nicht vielleicht auch ‚Philosophie' schließlich Naturwissenschaft ist.

Von den Gebieten, die man gewohnheitsgemäß der Philosophie zuschrieb, sind zunächst Psychologie, Aesthetik, Ethik, Soziologie nach dem Früheren anthropologische und damit Naturwissenschaften.

Logik ist zum Teil Psychologie, zum Teil nach neueren Entwickelungen Mathematik. Ihr Hauptproblem ist: welche Bedingungen muß das Denken erfüllen, wenn es zu haltbaren Ergebnissen gelangen will? Das Denken, das zu haltbaren Ergebnissen führt, ist aber ein besonderer Fall des ‚Denkens' überhaupt. Damit wird die Logik zu einem Sonderfall der Psychologie der Forschung. Und soweit sich die verschiedenen Arten von Aussagen und haltbaren Schlußreihen algebraischer Formulierung unterwerfen lassen, kann die Logik ähnlich wie die Geometrie ein Teil der Mathematik werden.

Erkenntnistheorie fragt nach dem Ursprung, dem Weg und dem Ziel der Wissenschaft. Die Untersuchung ihres Ursprungs ist eine psychologische Aufgabe, die ihres Weges teils allgemein psychologisch, teils im besonderen logisch, also zuletzt wieder psychologisch, und die des Ziels, die naturgemäß nur formal geführt werden kann, ebenfalls psychologisch, da es sich um Aufhellung von Begriffen wie Wahrheit, Wirklichkeit, Sein, Schein, Erscheinung usw. handelt. Weiter beschäftigt sich Erkenntnistheorie mit der Frage nach dem Wesen der Welt, nach dem Zusammenhang der psychologischen Vorgänge mit biologischen, vielleicht auch mit einem Entwurf eines Weltbilds je nach dem augenblicklichen Stande der Forschung, also mit naturwissenschaftlichen Problemen. So ist denn auch Erkenntnistheorie Naturwissenschaft.

So bliebe von der traditionellen Philosophie nur noch die Metaphysik übrig. Ist aber erst Philosophie mit Metaphysik identisch, so spielt sie nur noch die Rolle des Königs in Fuldas Talisman: es wird sich bald niemand mehr um sie kümmern, weil sie nichts mehr anhat.

In der Tat ist die Philosophie als besondere Wissenschaft heute in der Auflösung begriffen. Damit aber nicht das echte philosophische Denken, jenes Denken, das jedes Einzelproblem einer Wissenschaft mit ihrem Ganzen und mit dem Ganzen der Wissenschaft überhaupt in Verbindung zu setzen sucht und um der Erkenntnis des Ganzen willen an das Einzelne herangeht, jenes Denken, das nicht nach den Grenzen der einzelnen Wissenschaften fragt, sondern um seiner Probleme willen die Wissenschaften studiert, deren Ergebnisse zu ihrer Lösung beitragen können, jenes alles Kleine und Einzelne durch seinen auf das Große und Ganze gerichteten Blick adelnde Denken, das alle großen Forscher in allen Wissenschaften zu allen Zeiten geübt haben. Ein schönes Zeichen unserer Zeit, wie nach der nur allzu gerechtfertigten Verfeindung der Naturwissenschaft mit der offiziellen Philosophie überall in derselben Naturwissenschaft philosophische Denkweise sprießt!

55. Wir müssen somit den Gegensatz zwischen Natur- und ‚Geistes'- oder ‚Kulturwissenschaften' vollständig aufheben. Alle Wissenschaft ist Naturwissenschaft. Haben wir uns aber bis dahin durchgedacht, so werden wir auch — entsprechend unserem Satze von der Korrelation der Begriffe — einsehen, daß der Name ‚Naturwissenschaft' im Unterschied von dem kürzeren ‚Wissenschaft' nichts Besonderes mehr kennzeichnet, weil ja außerhalb ihrer Wissenschaft nichts besteht. Wir verstehen dann unter Wissenschaft schlechthin das auf das Allgemeine, auf Begriffe und Gesetze gerichtete ‚Den-

Digitized by Google

ken' im Gegensatz zu Kunst, zu praktischer Betätigung, zu ästhetischem Verhalten.

,Natur' aber ist die Gesamtheit der Erfahrungen unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten, im besonderen unter dem der eindeutigen Bestimmtheit aller Dinge und Vorgänge. Und ,Seele' bleibt in Korrelation dazu die Gesamtheit des Erlebten schlechthin nur nach ihrer Tatsächlichkeit in der vorgefundenen Anordnung. Wie Naturwissenschaft oder Wissenschaft schlechthin ein soziales Erzeugnis ist, so ist auch ,Natur' die Gesamtheit der der Menschheit überhaupt zugänglichen Erfahrungen, während ,Seele' in dem entwickelten Sinn individuell ist: die Erlebnisse des einzelnen Individuums. So wie wir allgemein die Erlebnisse der Individuen beschreiben, treiben wir bereits Wissenschaft, im besonderen Psychologie: und nennen wir die Gesamtheit der so begrifflich festgestellten Tatsachen wieder ,Seele', so ist das ein anderer Begriff als der oben umgrenzte. Hier handelt es sich dann nicht mehr bloß um ,Seele' als Gesamtheit von Erlebnissen, sondern um ,Seele' als Ergebnis psychologischer Untersuchung.

Bleiben wir bei unserem ersten Seelenbegriff, der den Begriff Natur begrenzt, so haben wir — das sei zum Schluß noch einmal betont — zu beachten, daß aller ,Seeleninhalt' zugleich ,Naturinhalt', weil eindeutig bestimmbar, ist, daß inhaltlich die individuelle ,Seele' ein Teil der ,Natur' ist. So eben sind wir stets im „Innern der Natur" und ist uns „der Kern der Natur" „im Herzen".

Literatur: *Auf demselben oder verwandtem Standpunkte wie der Verfasser dieses Artikels stehen:* **Richard Avenarius,** *Kritik der reinen Erfahrung. 2. Aufl., Leipzig 1907/08.* — *Derselbe, Der menschliche Weltbegriff. 3. Aufl., Leipzig 1912.* — **Cornelius,** *Psychologie als Erfahrungswissenschaft. Leipzig 1897.* — **Dietzgen,** *Das Wesen der menschlichen Kopfarbeit. Stuttgart 1903.* — **Dingler,** *Grundlinien einer Kritik und exakten Theorie der Wissenschaften, insbesondere der mathematischen. München 1907.* — **Duhem,** *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Leipzig 1908.* — **Enriques,** *Probleme der Wissenschaft. Leipzig 1910.* — **C. Hauptmann,** *Die Metaphysik in der modernen Physiologie. Dresden 1893.* — **Helm,** *Die Energetik. 1898.* — **Hering,** *Ueber das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organisierten Materie. Ostwalds Klassiker, Nr. 148. Leipzig 1905.* — **Jensen,** *Organische Zweckmäßigkeit, Entwickelung und Vererbung vom Standpunkte der Physiologie. Jena 1907.* — **B. Kern,** *Das Problem des Lebens in kritischer Bearbeitung. Berlin 1909.* — *Derselbe, Das Erkenntnisproblem und seine kritische Lösung. Berlin 1910.* — **Kleinpeter,** *Die Erkenntnistheorie der Naturforschung der Gegenwart. Leipzig 1905.* — **E. Mach,** *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. 2. Aufl., Leipzig 1909.* — *Derselbe, Die Mechanik in ihrer Entwickelung historisch-kritisch dargestellt. 7. Aufl., Leipzig 1912.* — *Derselbe, Die Prinzipien der Wärmelehre. 2. Aufl., Leipzig 1900.* — *Derselbe, Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen. 6. Aufl., Jena 1911.* — *Derselbe, Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. 4. Aufl., Leipzig 1910.* — **W. Ostwald,** *Vorlesungen über Naturphilosophie. 3. Aufl., Leipzig 1905.* — **Pearson,** *The Grammar of science. 2. Aufl., London 1900.* — **Petzoldt,** *Einführung in die Philosophie der reinen Erfahrung. Leipzig 1900/04.* — *Derselbe, Das Weltproblem vom Standpunkte des relativistischen Positivismus aus. 2. Aufl., Leipzig 1912.* — **Poincaré,** *Wissenschaft und Hypothese. Leipzig 1904.* — *Derselbe, Der Wert der Wissenschaft. Leipzig 1906.* — **Roux,** *Gesammelte Abhandlungen über Entwickelungsmechanik der Organismen. 1895.* — **Schuppe,** *Erkenntnistheoretische Logik. Bonn 1878.* — *Derselbe, Grundriß der Erkenntnistheorie und Logik. 2. Aufl., Berlin 1910.* — **Stallo,** *Die Begriffe und Theorien der modernen Physik. Leipzig 1901.* — **Stöhr,** *Lehrbuch der Logik in psychologisierender Darstellung. Leipzig und Wien 1910.* — *Derselbe, Der Begriff des Lebens. Heidelberg 1910.* — **Verworn,** *Allgemeine Physiologie. 5. Aufl., Jena 1908.* — *Derselbe, Naturwissenschaft und Weltanschauung. Leipzig 1904.* — *Derselbe, Die Erforschung des Lebens. Jena 1907.* — *Derselbe, Die Frage nach den Grenzen der Erkenntnis. Leipzig 1908.* — **Willy,** *Die Krisis in der Psychologie. Leipzig 1899.* — *Derselbe, Die Gesamterfahrung vom Gesichtspunkte des Primärmonismus. Zürich 1908.*

Auf anderem Standpunkte als der Verfasser dieses Artikels stehen: **Driesch,** *Die Seele als elementarer Naturfaktor. Leipzig 1903.* — **Natorp,** *Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften. Leipzig 1910.* — **Pauly,** *Darwinismus und Lamarckismus. München 1905.* — **Reinke,** *Die Welt als Tat. Berlin 1899.* — **Volkmann,** *Erkenntnistheoretische Grundzüge der Naturwissenschaften und ihre Beziehungen zum Geistesleben der Gegenwart. 2. Aufl., Leipzig 1910.*

J. Petzoldt.

Naumann

Johann Andreas.

Geboren am 13. April 1747 in einem kleinen Dorfe Ziebigk bei Cöthen, gestorben am 15. Mai 1826 daselbst. Genoß keine geregelte Schulbildung, schon mit 15 Jahren mußte er nach dem Tode seines Vaters mit seiner Mutter das der Familie gehörige Ackergut mitbewirtschaften. Von seinem Vater und Großvater hatte er die Neigung zum Vogelfange überkommen. Seine Erfahrungen auf diesem Gebiete sammelte er in seinem „Vogelsteller", den er 1798 herausgab. Sein Hauptwerk ist die „Naturgeschichte der Land- und Wasservögel des nördlichen Deutschlands und der angrenzenden Länder", 4 Bände,

Digitized by Google

1795 bis 1904, und in Verbindung mit seinem Sohne 1. bis 8. Nachtrag dazu 1805, 1806, 1810 bis 1817. Dasselbe zeichnet sich durch prachtvolle Kupfertafeln und eine Fülle sehr genauer Beobachtungen aus.

Literatur. *Selbstbiographie in der oben angeführten Naturgeschichte. Allgem. Deutsche Biogr. Bd. 23, 1886.*

W. Harms.

Naumann
Johann Friedrich.

Er war ein Sohn des vorigen. Geboren am 15. Februar 1780 in Ziebigk, gestorben am 15. August 1857 daselbst. War ebenfalls Landwirt, mit seinem 15. Jahre mußte er schon die Schule verlassen. Durch seinen Vater wurde er in die Ornithologie eingeführt, auf welchem Gebiete er Meisterhaftes leistete. Besonderes Geschick hatte er in der vollendeten Wiedergabe der lebenden sowohl wie auch der toten Vögel, dabei besaß er eine ausgezeichnete Beobachtungsgabe und einen unermüdlichen Fleiß. Seine erste Arbeit ist die „Taxidermie" 1815, worin er die Methode zum möglichst genauen naturgetreuen Ausstopfen der Vögel darlegt. Infolge mehrfacher Aufforderung hat er im Laufe eines Vierteljahrhunderts das Werk seines Vaters neubearbeitet, und besonders mit eigenhändig in Kupfer gestochenen und entworfenen Bildern geschmückt. Dieses Monumentalwerk: Naturgeschichte der Vögel Deutschlands, erschien in 12 Bänden von 1822 bis 1844. Ferner gab er mit Buhle: Die Eier der Vögel Deutschlands und der benachbarten Länder (5 Hefte, Halle 1819 bis 1828) heraus. In Anerkennung seiner Verdienste wurde er vom Herzog von Anhalt-Cöthen zum Professor und Inspektor des ornithologischen Museums ernannt. Ihm und seinem Vater zu Ehren hat die ornithologische Gesellschaft ihr Organ Naumannia genannt.

Literatur. *Biographie in Naumannia. Jahrg. 1857. — Allgem. Deutsche Biogr. Bd. 23, 1886.*

W. Harms.

Naumann
Karl Friedrich.

Er wurde am 30. Mai 1797 als Sohn des berühmten Kirchenmusikkomponisten Hofkapellmeister Johann Gottlieb Naumann in Dresden geboren, er studierte 1816 in Freiberg Bergwissenschaften, dann in Leipzig und in Jena Naturwissenschaft. Nachdem er in Jena 1819 promoviert hatte, bereiste er in den Jahren 1821 und 1822 Norwegen. Von dieser mineralogischen Studienreise zurückgekehrt, habilitierte er sich 1823 in Jena. 1824 war er Privatdozent an der Universität Leipzig; 1826 folgte er einem Ruf als Professor der Kristallographie an die Bergakademie in Freiberg. Nach neunjähriger Lehrtätigkeit daselbst wurde ihm auch die Professur für Geognosie übertragen. 1842 kehrte er als Professor der Mineralogie und Geognosie nach Leipzig zurück. 1870 trat er in den Ruhestand und zog nach Dresden, wo er am 26. November 1873 starb.

Zahlreich sind seine ausgezeichneten Arbeiten auf kristallographischem und mineralogischem Gebiete; hervorzuheben ist hier besonders sein Werk Elemente der Mineralogie (Leipzig 1846. 1871 8. Aufl.). Auf geologischem Gebiete hat er sich vor allem durch sein Lehrbuch der Geognosie (Leipzig 1850 bis 1854) einen berühmten Namen gemacht. Dieses Buch, das gründlichste und vollständigste Kompendium dieser Wissenschaft, hat Jahrzehnte hindurch allen Studierenden der Geologie als Richtschnur gedient. In Gemeinschaft mit Bernhard von Cotta gab er in den Jahren 1836 bis 1846 die aus zwölf Sektionen bestehende geologische Karte des Königreichs Sachsen im Maßstabe 1:120000 heraus, die in den dazu veröffentlichten Erläuterungen eine riesige Fülle von wissenschaftlich und technisch wertvollen Beobachtungen enthält. Eine 1845 zusammengestellte Generalkarte von Sachsen im Maßstab 1:360000 mit 24 Farben vollendete diese langjährigen und mühevollen Untersuchungen. Durch seine hervorragende Lehrtätigkeit wurde die Universität Leipzig der Vorort für das Studium der Geologie und Mineralogie. In allen Teilen der Erde erregten seine Arbeiten die anerkennende Bewunderung der Fachleute. So wurde er Mitglied vieler wissenschaftlich bedeutender Gesellschaften. 1868 erhielt er in Anerkennung seiner Verdienste, besonders in Bezug auf seine vortrefflichen geologischen Karten die goldene Wollaston-Medaille der Geological Society in London.

Literatur. ***H. B. Geinitz,*** *Zur Erinnerung an Dr. C. Fr. Naumann. N. J. f. Min. usw. 1874, S. 147 bis 154. — Allg. Deutsche Biographie, 23, S. 316 bis 319. —* ***Poggendorff's,*** *Biog.-liter. Handwörterbuch, 2, 257, 3, II. 958.*

O. Marschall.

Nemathelminthes.

1. Einleitung. 2. Morphologie und Physiologie. a) Haut. b) Nervensystem. c) Sinnesorgane. d) Muskulatur. e) Leibeshöhle und Isolationsgewebe. f) Darmkanal. g) Exkretionsorgane. h) Geschlechtsorgane. 3. Entwickelungsgeschichte (Ontogenie). 4. Systematische Einteilung. 5. Biologie und Verbreitung.

1. Einleitung. Als Nemathelminthes oder Rundwürmer bezeichnet man mehrere Gruppen von niederen Würmern, die vielleicht weniger aus dem Grunde, daß sie in den Hauptzügen ihres Baues übereinstimmen, in einer Klasse vereinigt werden, als vielmehr deshalb, weil sie sich alle in gleicher Weise in vielen wesentlichen Punkten von den anderen Wurmklassen unterscheiden. Nach der Ansicht der meisten modernen

Digitized by Google

Forscher (s. die Zusammenfassung von Rauther 1909) bestehen keinerlei nähere Verwandtschaftsverhältnisse zwischen ihnen. Im Hinblick auf den Bau des Hautmuskelschlauches, der Exkretionsorgane und der Geschlechtsorgane weichen diese Gruppen mehr oder weniger beträchtlich voneinander ab, so daß man sie auch als selbständige Klassen nebeneinander stellen könnte.

Wenn man die Rundwürmer in einer Klasse zusammenfaßt, wie es hier geschehen soll, so gliedert sich diese in drei Ordnungen, nämlich die Nematodes oder Fadenwürmer, die Nematomorpha und die Acanthocephali oder Kratzer.

Die Angehörigen dieser drei Ordnungen weisen in der Hauptsache folgende übereinstimmenden Merkmale auf: Sie besitzen einen ungegliederten wurmförmigen, mehr oder weniger langgestreckten fast immer im Querschnitt kreisrunden (daher der Name „Rundwürmer") Körper, oft von spindel- oder fadenförmiger Gestalt, an dem sich keinerlei äußere Anhänge oder Gliedmaßen finden. Gewöhnlich sind die Rundwürmer schmutzig gelb-grau gefärbt, manche auch etwas durchsichtig. Das Vorderende der Acanthocephali ist in einen mit Haken besetzten Rüssel umgewandelt, der in eine Scheide zurückgezogen werden kann. In wenigen Fällen sind sonst borstenähnliche Gebilde oder Haken ausgebildet, noch seltener sind saugnapfähnliche Haftorgane, die dann nur dem männlichen Geschlecht zukommen und zum Anheften an die Weibchen bei der Kopulation dienen. Außen wird der Körper von einer derben Cuticula begrenzt, unter welcher die für die Bewegungen des Rumpfes wichtige Muskulatur in Gestalt von Längsmuskeln, bei den Acanthocephali auch Ringmuskeln, liegt; im Innern enthält er einen geradlinigen Darmkanal, der aber auch in reduzierter Form nur teilweise vorhanden sein oder endlich ganz fehlen kann. Die Mundöffnung pflegt endständig am Vorderende zu liegen und ist bei den Nematoden von Lippen und Papillen umgeben; der After befindet sich meist ventral in nicht zu großer Entfernung von dem Hinterende. Bei den Nematoden wird der Raum zwischen dem Hautmuskelschlauch und dem Darmkanal von einem besonderen „Isolationsgewebe" ausgefüllt, und auch bei den jugendlichen Nematomorpha erscheint die Leibeshöhle zurückgedrängt durch ähnliche parenchymatöse Gewebe, während der Darm der erwachsenen Nematomorpha in einem Hohlraume liegt, der ebenso, wie der Raum zwischen der Körperwand und den Geschlechtsorganen der Acanthocephali als Leibeshöhle aufgefaßt wird. Nirgends findet sich ein Blutgefäßsystem, und ebenso fehlen Atmungsorgane. Exkretionsorgane sind in vereinfachter Form vorhanden, auch führen die Rundwürmer ein einfaches Nervensystem. Als eine Merkwürdigkeit, sie sich sonst im Tierreich nur noch bei den Arthropoden wiederfindet, führt Shipley an, daß die Nemathelminthes weder innen noch außen an ihrem Körper, die sonst so verbreiteten beweglichen Cilien besitzen; nur die Exkretionsorgane der Acanthocephali machen eine Ausnahme von dieser Regel. Die weitaus meisten Rundwürmer sind getrennten Geschlechts und sehr häufig unterscheiden sich die männlichen von den weiblichen Tieren in ihrem äußeren Habitus, auch sind sie meist kleiner als diese, so daß also ein sog. Geschlechtsdimorphismus vorliegt. Nur wenige Arten sind Zwitter. Die Geschlechtsorgane liegen zwischen Darm und Körperwand (bei den Kratzern in der Leibeshöhle) und besitzen eigene Ausführungsgänge. Die Entwickelung ist teils eine direkte, teils findet eine Metamorphose statt. Wenige Formen sind lebendig gebärend. Der weitaus größte Teil aller Rundwürmer führt eine parasitische Lebensweise, und zwar schmarotzen einzelne Arten ihr ganzes Leben hindurch in anderen Tieren, andere, und das ist wohl die Mehrzahl, verbringen wenigstens einen Teil ihres Lebens parasitisch in Tieren oder Pflanzen, während sie in der Jugend (selten umgekehrt) frei leben. Manche Rundwürmer endlich leben ständig frei, zumeist im Wasser oder in feuchter Erde, im Schlamm und dergl. Ueber die Morphologie und die Verwandtschaftsbeziehungen der Nematoden hat Rauther (1909) eine umfassende Gesamtdarstellung gegeben.

2. Morphologie und Physiologie. 2a) Haut. Die Haut der Nemathelminthes besteht aus einer äußeren Cuticula und einer darunterliegenden Subcuticula oder Epidermis, welche jene erzeugt hat. Bei den Nematoden ist die Cuticula meist ansehnlich dick, oft glatt, nicht selten durch einen Besatz von gröberen oder feineren Erhebungen, wie Hökkern, Stacheln oder Haaren, manchmal auch durch besondere Skulpturen wie seitliche Längsleisten mit Längsfurchen (Ascaris mystax und Ascaris transfuga) oder ringförmige Verdickungen (Desmoscolecidae, s. Fig. 1) ausgezeichnet. Die Cuticula der

Fig. 1. ♀ Desmoscolex elongatus. Nach Panceri.

Kratzer ist nur dünn und glatt, die der Nematomorpha zusammengesetzt aus einer dünneren äußeren und einer dickeren inneren Schicht.

Die Subcuticula ist protoplasmatischer Natur und enthält Zellkerne, doch gelingt es nicht, bei vielen erwachsenen Nematoden und den Acanthocephalen, einzelne Zellkörper voneinander abzugrenzen, so daß man bei ihnen diese ganze Körperschicht als ein Syncytium ansehen muß. Zum großen Teile wird das Plasma der Subcuticula von einem Faserwerk durchzogen, das aus Zellen der gleichen Schicht stammt. Wohl aber findet sich in der Jugend dieser Würmer eine deutliche epitheliale Epidermis, welche die Cuticula abscheidet und sie meist viermal erneuert (Maupas 1899), sich dann aber zu jenem Syncytium auflöst, so daß die Haut später nicht mehr gewechselt wird, Häutungen also bei den erwachsenen Nematoden nicht vorkommen. Demgegenüber besitzen auch die erwachsenen Nematomorpha eine Epidermis aus scharf voneinander abgegrenzten polygonalen Zellen. Während die Subcuticula und dementsprechend auch die Cuticula ektodermalen Ursprungs ist, stammt eine bei den Nematoden sich der ersteren innen anschmiegende Cutis vom mittleren Keimblatt.

Bei den Nematoden verdickt sich die Subcuticula nach innen zu in Gestalt von 4 Längsleisten, von denen je eine dorsal und ventral und je eine seitlich von vorn nach hinten verstreicht. Die beiden ersteren bilden die sogenannten „Medianlinien", die beiden anderen die „Seitenlinien", die man meist schon äußerlich durchschimmern sieht. Große Nematoden besitzen außerdem noch 4 sehr schmale Submedianleisten. Selten fehlen bei den Nematoden die Seitenlinien, dagegen stets bei den Nematomorpha, von denen die Gordiidae außerdem keine dorsale Medianlinie besitzen. Bei den Kratzern ist keine der 4 Linien ausgebildet.

Vorn und hinten geht die Haut der Rundwürmer in den Anfangs- resp. Enddarm über, wo solche vorhanden sind.

Bei den Acanthocephali ist die Subcuticula in einer besonderen Weise differenziert, indem in ihrer untersten Schicht zahlreiche Lakunen liegen und miteinander kommunizieren, die bei den verschiedenen Spezies verschieden angeordnet und ausgebildet sind, immer aber als zwei seitlich gelegene Längskanäle mit abgehenden Verzweigungen auftreten. Vorn, neben der Rüsselscheibe, wuchert die Subcuticula in Gestalt zweier birnförmiger Verdickungen (Lemnisci) in die Leibeshöhle hinein, wobei dieser Teil Lakunen enthält, die mit denen des Rüssels und des Halsteiles sowie mit einer ringförmigen Lakune der Haut kommunizieren, von dem System in der übrigen Haut aber getrennt sind. Im Innern aller Lakunen zirkuliert eine helle, Fettkörnchen enthaltende, Flüssigkeit. — Diese besondere Differenzierung der Haut der Kratzer, die, selbst darmlos, im Darm anderer Tiere zu schmarotzen pflegen, stellt im allgemeinen ein Organ der Nahrungsaufnahme dar, während die Lemnisken mit ihren Hohlräumen nach der einen Auffassung Reservoire für die Flüssigkeit der Lakunen des Rüssels sind, in welchen sich jene sammelt, wenn das Vorderende eingestülpt wird, nach einer anderen aber die Abgabe der Nahrungsstoffe an die Leibeshöhle erleichtern.

Man hat auch einzellige Hautdrüsen vor allem bei freilebenden Nematoden in der Nähe des Vorderendes und der Geschlechtsöffnungen kennen gelernt, die manchmal auch in größerer Zahl in den Seitenlinien stehen oder (bei den Trichotrachelidae) längs eines Teiles der Hauptkörperlinien münden und als „Stäbchensäume" oder „Stäbchenfelder" bekannt sind (Jägerskiöld). Auch die an den Seiten des Mundes ausmündenden „Kopfdrüsen" einiger Fadenwürmer (Ancylostoma, Sclerostomum) müssen als solche Hautdrüsen aufgefaßt werden.

2b) Nervensystem. Das Nervensystem der verschiedenen Gruppen der Nemathelminthes stimmt nur in den allgemeinsten Zügen überein, indem stets ein den Schlund umgebender Nervenring mit Ganglienzellen, der sogenannte Cerebralteil, und von diesem abgehende Längsnervenstämme vorhanden sind. Im einzelnen ist das Nervensystem jeder der 3 Ordnungen von dem der anderen verschieden.

Das Nervensystem der Nematoden zeichnet sich durch eine auffallend geringe Anzahl von Ganglienzellen aus und ist uns in der neuesten Zeit speziell von dem Spulwurm (Ascaris) durch die Untersuchungen von Goldschmidt (1907 und 1909) sehr genau bekannt geworden, ja, man darf vielleicht mit Recht behaupten, daß wir bei keinem anderen Tiere so tief in die Einzelheiten des Baues dieses Organsystems eingedrungen sind wie hier.

Wenn wir das zum größten Teil in der Subcuticula gelegene Nervensystem von Ascaris betrachten (Fig. 2), so finden wir einen den Anfangsdarm umgebenden, kaum 60 Fasern enthaltenden Nervenring mit zwei seitlichen größeren Anhäufungen von Ganglienzellen, von dem nach vorn 6 Nerven, 2 stärkere seitliche und 4 schwächere neben

Digitized by Google

den Medianlinien ausgehen, welche alle die in den Mundrändern und Papillen vorhandenen Sinnesorgane versorgen. Nach hinten treten aus dem Nervenring im Zusammenhang mit dort liegenden Ganglienzellen 4 größere Nervenstämme, von denen der

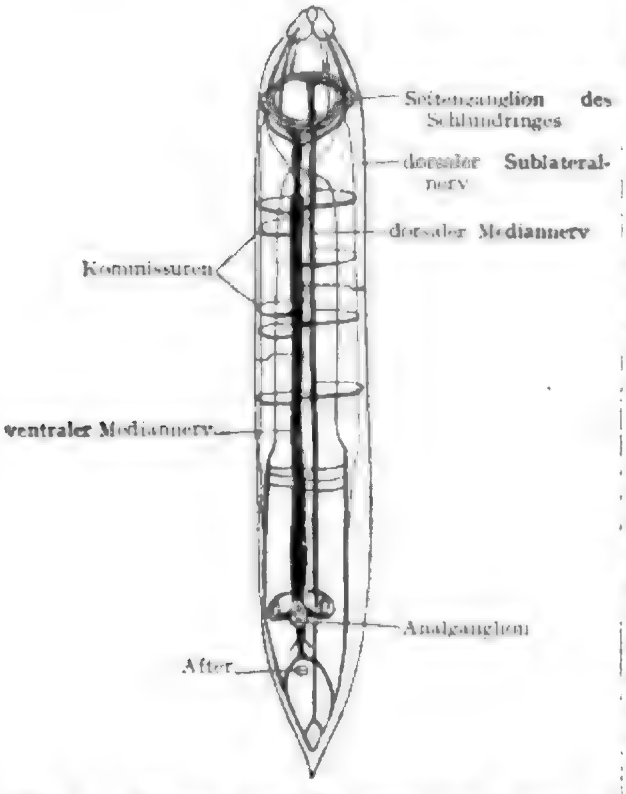


Fig. 2. Schema des Nervensystems eines ♂ v. Ascaris megalocephala. Nach Brandes.

stärkste in der Bauchlinie, ein etwas schwächerer in der Rückenlinie als „Mediannerven" mit zum größten Teil motorischen Fasern durch den Wurmrumpf ziehen, während jederseits ein noch schwächerer „Sublateralnerv" dorsal die Seitenlinie begleitet. Aus dem Bauchnerv entspringt dann noch auf jeder Seite ein dem dorsalen ähnlicher „ventraler Sublateralnerv". Alle diese Längsnerven stehen an ihrem hinteren Ende miteinander in Verbindung, indem sie in zwei Aeste, in welche sich der Bauchnerv gabelt, einmünden, und ebenso bestehen solche in der Subcuticula verstreichende Verbindungen auch im Wurmrumpf zwischen Rücken- und Bauchnerv (bei Ascaris rechts mehr als links) und zwischen Bauchnerv und ventralen Sublateralnerven. An der Gabelungsstelle des Bauchnerven findet sich dann noch eine weitere Ganglienanschwellung (Analganglion), von der bei dem männlichen Spulwurm ein Nervenring, der die Kloake umfaßt, ausgeht.

Von den höchst bemerkenswerten Einzelheiten, die Goldschmidt an Ascaris lumbricoides gefunden hat, kann hier nur ganz kurz mitgeteilt werden, daß immer genau 162 Ganglienzellen im ganzen Nervensystem vorhanden sind, die genau bestimmte Nervenfasern aussenden. Diese Ganglienzellen liegen, mit Ausnahme von einigen Zellen in der Medianebene und zweien im Bauchganglion, streng symmetrisch und sind zu je zweien einander spiegelbildlich gleich, dabei die einundderselben Wurmhälfte unter sich nach Form, relativer Größe, Lage, des Kerns usw. mehr oder weniger verschieden.

Die Nematomorpha besitzen einen den Oesophagus umschließenden Nervenring mit zwei dorsalen Ganglienanschwellungen, von dem ein durch Nervenfasern mit der ventralen Medianlinie verbundener Bauchstrang bis ins Körperende zieht. Dieser Bauchstrang setzt sich aus 3 Faserbündeln zusammen, zwischen denen Ganglienzellen liegen.

Bei den Acanthocephali findet sich etwas vor dem Ende der Rüsselscheide ein flaches ovales Cerebralganglion, von dem nach vorn in den Rüssel 3 Nerven, nach hinten 2 stärkere seitliche Nervenstämme ausgehen. Von den letzteren zweigen sich dann lateral verlaufende kleinere Aeste ab, um die Körpermuskulatur und die Geschlechtsorgane zu innervieren. Dabei stehen sie beim Männchen in Verbindung mit zwei Genitalganglien in der Nähe des Ductus ejaculatorius.

2c) Sinnesorgane. Wie es meistens bei parasitisch lebenden Tieren zu sein pflegt, sind auch bei den Rundwürmern, von denen die meisten noch dazu im Innern des Körpers anderer Tiere schmarotzen, die Sinnesorgane nur wenig entwickelt, da diese Würmer ihrer zum Aufsuchen der Nahrung oder zur Witterung etwaiger Feinde nicht bedürfen. Auch für die freilebenden Formen gilt dies im allgemeinen, denn sie führen alle eine mehr oder weniger saprozoische Lebensweise, bei der sie ebenfalls direkt von dem ihre Nahrung enthaltenden Medium umgeben sind.

Am verbreitetsten sind Tastpapillen in der Haut der Nemathelminthen, die sich vor allem in der Umgebung des Mundes häufen. Bei den Kratzern liegen 3 solcher Tastpapillen auf dem Rüssel (Kaiser) und einige in der Nachbarschaft der männlichen Geschlechtsöffnung. Sie sind zugleich die bei dieser Ordnung einzig bekannten Sinnesorgane. Auch bei den Nematoden finden sich an den gleichen Stellen, in den die Mundöffnung umstellenden Lippen und in der Nähe der männlichen Geschlechtsöffnung Tastpapillen, die aber in ihrem Bau voneinander abweichen. Außer diesen Organen pflegen noch ein paar „Halspapillen" dicht bei den Seitenganglien,

Digitized by Google

2 dorsale Papillen in der Körpermitte und (bei Ascaris) 2 seitliche kurz vor dem Hinterende aufzutreten. Die Verteilung und Anzahl dieser Papillen geben für die systematische Einteilung größerer und kleinerer Gruppen der Nematoden wichtige Merkmale ab.

Die Gordiiden sind durch den Besitz von sehr zahlreichen feinen Sinnesborsten ausgezeichnet, die auch hier wieder in der Gegend der männlichen Kloake besonders dicht stehen.

Die freilebenden Nematoden besitzen meist Sehorgane in Gestalt einfacher, von dichtem Pigment umgebener, z. T. mit einem linsenähnlichen lichtbrechenden Körper versehener Augen, die in der Nähe des Schlundnervenringes aufzutreten pflegen. Auch bei erwachsenen Gordiidae, die ja mit dem Nahen der Geschlechtsreife ihren Wirt verlassen, um eine freischwimmende Lebensweise zu führen, sind am Vorderende mit dunklem Pigment versehene Sehorgane nachgewiesen worden.

2d) Muskulatur. Die Nematoden besitzen eine wohlentwickelte Längsmuskulatur, welche dicht unter der Subcuticula liegend den ganzen Rumpf von vorn bis hinten stets in einschichtiger Lage durchzieht und durch die nach innen vorspringenden Hautverdickungen der Median- und Seitenlinien in 4 Längsmuskelfelder geteilt wird.

Bei den einfacheren Formen liegen auf einem Querschnitt durch den Wurm in jedem solchen Längsmuskelfeld 2 Muskelzellen von rhombenförmiger Gestalt nebeneinander, im ganzen also 8, die auf ihrer nach außen gekehrten Seite die in Fibrillen angeordnete kontraktile Substanz ausgeschieden haben, während der den Kern enthaltende plasmatische Teil der Körpermitte genähert ist (Fig. 3a). Man hat die Nematoden mit derartigen 8 Muskelzellen auf dem Querschnitt als „Meromyarier" den meist größeren „Polymyariern" (Schneider 1866) gegenübergestellt, bei denen dadurch, daß die einzelnen Muskelzellen sich sehr strecken und bis zu 3 mm lang werden, auf den Querschnitt viel zahlreichere zu liegen kommen (Fig. 3b). Während bei den Muskelzellen der Meromyarier die kontraktile Substanz eben angeordnet ist, erscheint sie bei denen der Polymyarier rinnenartig zusammengekrümmt, so daß hier auch die Seiten einer solchen Muskelzelle kontraktile Fibrillen enthalten (Fig. 4). Die plasmatischen Teile der Zellen mit den Kernen ragen blasenförmig aus der Muskelschicht nach innen hervor. Von ihnen aus laufen strangförmige Fortsätze zu dem jeweils nächsten Mediannerven, der Bündel von Nervenfibrillen in sie entsendet, die sich auflösend durch die Fortsätze in die Muskelzellen gelangen und dort teils die kontraktile Schicht innervieren, also motorischer Natur sind, teils in die Subcuticula eintreten, um sich dort untereinander zu einem wohl sensoriellen Flechtwerk zu verbinden.

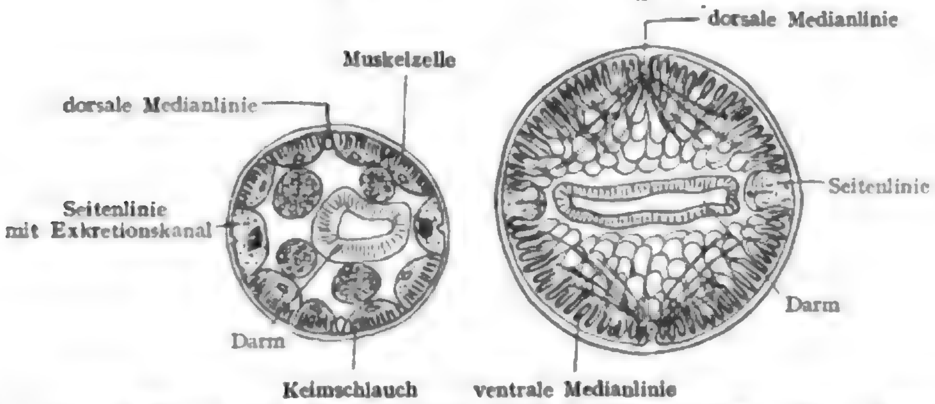


Fig. 3. Querschnitt a) eines Meromyariers, b) eines Polymyariers. Nach Leuckart.

Diese Längsmuskeln der Nematoden ermöglichen nun den Tieren die Bewegungen ihres Körpers; sie verkürzen diesen, wenn sich alle gleichzeitig kontrahieren, sie krümmen ihn, wenn sich nur die einer Seite zusammenziehen. Im letzteren Falle wirken

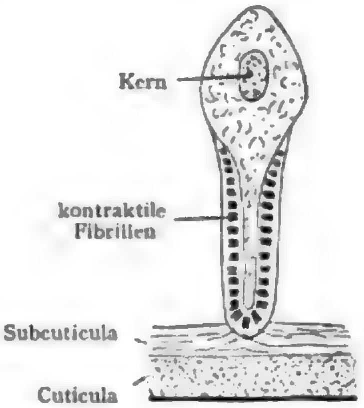


Fig. 4. Schematischer Querschnitt durch eine Längsmuskelzelle eines Polymyariers.

als Antagonisten die Muskeln der anderen Seite, im ersteren läßt die Elastizität der Cuticula nach dem Erschlaffen der Längsmuskeln den Körper wieder seine ursprüngliche Gestalt annehmen. Die hohe Elastizität der Cuticula läßt übrigens meistens nur Pendelbewegungen der Körperenden, keine großen Biegungen und Verschlingungen zu.

Während die Längsmuskulatur zusammen mit der äußeren Körperbedeckung den sogenannten „Hautmuskelschlauch" der Nematoden darstellt, finden sich am Anfangsteil des Darmes, an dessen Ende, sowie an besonderen Teilen des Geschlechtsapparates, vor allem zur Bewegung der bei den Männchen vorhandenen, später noch zu besprechenden Spicula, noch besonders ausgebildete Muskeln.

Auch die Nematomorpha besitzen nur eine einzige Lage von Längsmuskeln, die aber auf dem Querschnitt zahlreicher als bei den Nematoden erscheinen, und sich von jenen vor allem dadurch unterscheiden, daß bei ihnen der kontraktile Teil nach außen offen ist, während die einzelnen Muskelzellen sonst in ihrem Bau denen der Nematoden gleichen.

Zum Unterschied von den beiden anderen Ordnungen der Rundwürmer weisen die Acanthocephali außerhalb der auch ihnen zukommenden Längsmuskulatur eine Lage von Ringmuskelfasern auf. Die Längsmuskeln ähneln in ihrem Bau denen der Nematoden. Der hier vorhandene Rüssel kann in eine schlauchförmige muskulöse Scheide (Receptaculum proboscidis) zurückgezogen werden, von deren Grunde mehrere Längsmuskelbündel ausgehen, und den Rüssel durchsetzend sich an der Innenfläche von dessen Vorderende anheften (Retractor proboscidis). Sie stülpen durch ihre Kontraktion den Rüssel ein und ziehen ihn in die Scheide zurück, die ihn dann durch Zusammenziehen ihrer Wände wieder hervortreibt. Endlich kann auch noch das ganze Vorderende eingezogen werden durch einen Retractor receptaculi, der sich zwischen Körperwand und hinterem Ende der Scheide ausspannt, sowie durch einen glockenförmigen muskulösen Lemniskenmantel, der ringförmig hinter den Lemnisken von der Körperwand entspringend nach vorn zieht und sich neben jenen anheftet.

2e) Leibeshöhle und Isolationsgewebe. Während man früher annahm, daß sich bei den Nematoden zwischen der Körperwand und dem Darmkanal ein Hohlraum befände, den man als einen Rest der Furchungshöhle, die sich zu einem Schizocöl erweiterte, und somit als primäre Leibeshöhle auffaßte, haben neuere Untersuchungen ergeben, daß jener Raum von einem besonderen Gewebe, dem „Isolationsgewebe", eingenommen wird. Auch hier haben vor allem die Arbeiten Goldschmidts an Ascaris Klarheit geschaffen. Es zeigt sich, daß von einer einzigen sehr großen Zelle, die dorsal vom Oesophagus unmittelbar hinter dem Schlundnervenring liegt, der ganze Vorderkörper bis etwa zum ersten Viertel des Mitteldarmes mit jenem Gewebe versehen wird, das aus in Lamellensystemen angeordneten Fortsätzen der Zelle besteht. Nach vorn zu liefern 4 Gruppen von je 3 Zellen das gleiche Gewebe, und ebenso finden sich hinter der Körpermitte einige solcher Zellen, die das dortige Isolationsgewebe erzeugen. Während dieses Gewebe da, wo es sich den Längsmuskeln und dem Darm anschmiegt, spinnwebartig konzentrische Waben bildet, enthält es in dem Raum zwischen Hautmuskelschlauch und Darm große, mit eiweißhaltiger Flüssigkeit gefüllte Hohlräume, die leicht die Anwesenheit einer Leibeshöhle vortäuschen können, in Wirklichkeit aber intracellulär liegen. Goldschmidt vergleicht aus diesem Grunde das Isolationsgewebe mit dem Parenchym der Plathelminthen, von dem es sich nur durch die Anwesenheit der großen Flüssigkeitsvakuolen unterscheiden soll. Falls sich diese Auffassung als allgemeingültig für die ganze Gruppe erweisen sollte, so dürfte man die Nematoden nicht mehr wie man es früher getan hat, zu den Cölhelminthen, den Würmern mit einer Leibeshöhle, rechnen.

Hier mögen einige der Körperwand der Nematoden innen anliegende Zellen erwähnt werden, die vor allem bei den größeren Formen durch ihre Größe auffallen — sind sie doch in manchen Fällen bis zu 1 Zentimeter lang —, so daß sie bequem dem bloßen Auge sichtbar werden. Es handelt sich um die wegen ihrer starken Verästelung „büschelförmige Organe" genannten Zellen, die zu 4, 6 oder in noch größerer Zahl sich bei Ascaris nur im Vorderende (Fig. 5), bei anderen Formen (Sclerostomum, Strongylus) im ganzen Rumpf verteilt meist den Seitenlinien anliegend vorfinden. Sie haben die Fähigkeit, gewisse Substanzen in sich aufzuspeichern, und heißen

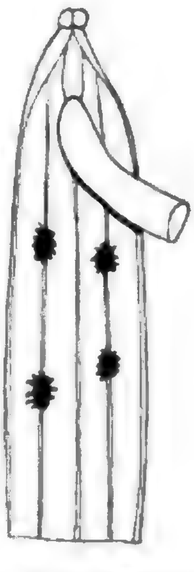


Fig. 5. Vorderende von Ascaris, der Länge nach aufgeschnitten, um die an den Seitenlinien liegenden 4 büschelförmigen Organe zu zeigen. Nach Nassonow.

Digitized by Google

deshalb auch „phagocytäre Organe“. Man kann sich diese Funktion der Zellen zunutze machen, um sie noch deutlicher in die Erscheinung treten zu lassen, indem man den Würmern Karmin- oder Tuschekörnchen unter die Haut injiziert, worauf diese von den phagocytären Organen aufgenommen werden, so daß dieselben sich durch die entsprechende Färbung von den umliegenden Geweben abheben.

Bei den Nematomorpha erfüllt in der Jugend ein solides Gewebe aus reihenförmig angeordneten, deutlich voneinander abgegrenzten polygonalen Zellen den Raum zwischen Hautmuskelschlauch und Darm. In diesem Füllgewebe treten bei den heranwachsenden Tieren Lücken auf, die sich allmählich derartig erweitern, daß nur noch eine dünne Lage von Zellen die Längsmuskeln und den Darm wie ein Peritoneum bedeckt. Außerdem bleiben von diesem „perienterischen Gewebe“ noch mesenterienartige dorsoventral verlaufende Lamellen stehen, an denen auch die Genitalorgane befestigt sind. Die Hohlräume ordnen sich so an, daß ventral von der Körpermitte ein den Darm umgebender Sinus, beim Weibchen außerdem noch ein Rücken- und 2 seitlich gelegene Ovarialsinus entstehen (Fig. 6). Der

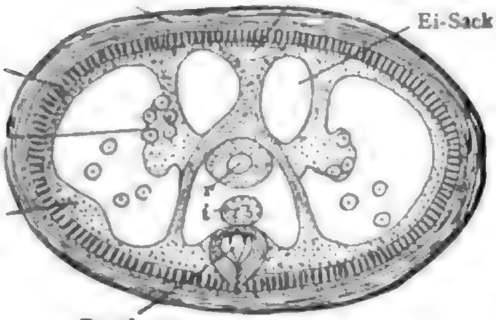


Fig. 6. Querschnitt durch ein reifes ♀ von Gordius tolosanus, das seine Eier zum größten Teil abgelegt hat. r = Receptaculum, i = Darm im Darmsinus. Nach Shipley.

den Darm umgebende Hohlraum pflegt als „Leibeshöhle“ bezeichnet zu werden.

Die Acanthocephali endlich besitzen eine geräumige Leibeshöhle, in der die ansehnlichen Geschlechtsorgane, zum größten Teil eingebettet in ein zwischen dem Grunde der Rüsselscheide und der Körperwand ausgespanntem Ligament, liegen. Man hat auch den Hohlraum der Rüsselscheide, in den der Rüssel zurückgezogen werden kann, als einen besonderen abgegliederten Teil der Leibeshöhle angesprochen und in der Rüsselscheibe selbst eine Art Dissepiment sehen wollen.

2f) Darmkanal. Nur die meisten Nematoden besitzen einen wohlentwickelten Darmkanal; die Acanthocephali sind so an ihre parasitische Lebensweise angepaßt, daß bei ihnen jede Spur eines Verdauungstraktus geschwunden ist. Auch der Darmkanal der Nematomorpha ist degeneriert.

Gordius besitzt allein auf ganz frühen Larvenstadien eine Mundöffnung, die bei Nectonema zwar zeitlebens vorhanden, aber nur sehr klein ist. Bei beiden Formen existiert ein Oesophagus (bei Gordius ohne Lumen) und ein enger Mitteldarm, der bei Gordius mit den Geschlechtsausführgängen in einer Kloake ausmündet, während er bei Nectonema sich hinten mehr und mehr verjüngt, um schließlich ohne äußere Mündung kurz vor dem Hinterende zu enden.

Auch bei einigen Nematoden wird der Darm mehr oder weniger reduziert. So fehlt die Afteröffnung bei Mermis, während bei Mermis albicans und Atractonema der ganze Verdauungstraktus bis auf einen Zellstrang zurückgebildet ist, ja bei Allantonema mirabile im erwachsenen Zustande ganz fehlt.

Der Darmkanal der Nematoden beginnt mit der stets terminal gelegenen Mundöffnung, die gewöhnlich von 2 bis 6 (meist 3) wulstigen Lippen oder Papillen bei Ascaris 1 dorsal, 2 ventral) umstellt ist und in eine Mundhöhle führt, in die häufig besondere Bildungen der Cuticula in Form von Spitzen oder Zähnen hervorragen (Fig. 7). Bei den von organischen Säften lebenden (Tylenchus, Heterodera, Dorylaimus, Larven von Mermis) findet sich häufig ein stilettartiger Bohrstachel im Grunde der Mundhöhle.

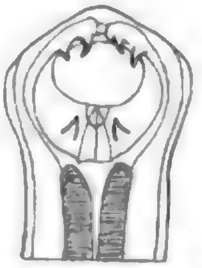


Fig. 7. Vorderende von Ancylostoma duodenale mit Mundkapsel.

Der sich anschließende Oesophagus ist meist ein kurzes Rohr, das in seinen Wänden eine sehr starke Muskulatur aus radiären Fasern zu besitzen pflegt. Sein meist dreiteiliges enges Lumen wird von einer chitinigen Fortsetzung der Cuticula gebildet und trägt öfters leistenartige vorspringende Zähne. Auch einzellige Drüsen finden sich im Oesophagus. Bei einigen Gattungen der Trichotrachelidae (Trichinella, Trichocephalus) besteht der Oesophagus aus einem langen cuticularen Rohr, auf dessen Dorsalseite eine Reihe großer Zellen liegt, die ihn nur mit einer ganz dünnen Schicht von Plasma umgeben. Bei vielen Nematoden schwillt das hintere Ende des Oesophagus zu einem dicken muskulösen Bulbus (Pharynx) an, der ebenfalls Zähnchen enthalten kann. Als Anhangsorgane endlich können sich vom

Digitized by Google

Hinterende des Oesophagus schlauchförmige „Darmblindsäcke“ nach vorn oder hinten abzweigen. Rauther wies bei manchen Formen eine exkretorische Funktion des Pharynx nach.

Der muskellose Mitteldarm ist ein oft etwas abgeflachtes, gerades Rohr, dessen Wände von hohen Epithelzellen gebildet werden, die auf beiden freien Seiten eine dünne Cuticula abscheiden, von denen die das Darmlumen begrenzende von feinen Poren durchsetzt sein kann.

Ein muskulöser Enddarm endlich setzt den Mitteldarm nach hinten zu fort und mündet durch die fast immer ventral gelegene (bei den Trichotrachelidae nach hinten verschobene) Analöffnung nach außen. An der Grenze zwischen den beiden letzten Darmabschnitten oder im Anfang des Rectums umgibt ein starker Sphinkter als Schließmuskel den Verdauungstraktus, während zwischen dem Enddarm und der Körperwand ausgespannte Muskeln (Dilatatoren) als seine Antagonisten wirken.

2g) Exkretionsorgane. Die Exkretionsorgane der Nematoden treten auf als zwei Kanäle, die jederseits in den Seitenlinien verlaufen (s. Fig. 3), und von denen der rechte rückgebildet sein kann. Sie vereinigen sich meist vorn und münden durch einen kurzen Endkanal in einem ventralen Porus dicht hinter dem Vorderende ins Freie (Fig. 8). Die beiden Kanäle gehören einer einzigen großen Zelle an, in deren Ausläufer sie intracellulär eingebettet sind. Goldschmidt hält die Exkretionskanäle der Nematoden nach seinen Befunden an Ascaris lumbricoides für die außerordentliche Erweiterung einer ehemals exkretorischen Hautdrüse, welche die Funktion der fehlenden eigentlichen Nephridien übernommen hat. Der sezernierende Teil soll durch ein die Kanäle in den Seitenlinien begleitendes syncytiales Drüsengewebe repräsentiert werden. Es wäre zu untersuchen, wieweit sich diese Befunde auf andere Nematoden verallgemeinern lassen. Es muß zudem hier erwähnt werden, daß die exkretorische Funktion der Seitenkanäle überhaupt heute noch nicht unbestritten allgemein anerkannt wird.

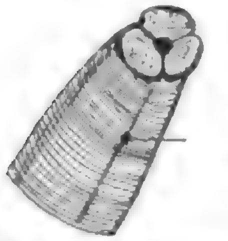


Fig. 8. Vorderende von Ascaris von der Ventralseite.

Viele Angehörige der Familien der Enoplidae und Anguillulidae führen keine Seitenkanäle, sondern eine unpaare „Bauchdrüse“, welche ebenfalls exkretorisch tätig ist.

Von etwaigen Exkretionsorganen der Nematomorpha ist nichts Sicheres bekannt.

In der Leibeshöhle von Echinorhynchus gigas findet sich jederseits von der später zu beschreibenden Uterusglocke, resp. dem Ductus ejaculatorius ein schüsselförmiges aus 3 Zellen bestehendes Organ, das sich als ein in den Genitalgang mündendes verästeltes Kanälchen erweist, dessen Ende in mehrere Hundert zylindrische Kölbchen (Solenocyten) mit je einem in das Lumen ragenden Wimperbüschel ausläuft. Die beiden Forscher (Kaiser 1893 und Schepotieff 1908), die uns die genaueste Beschreibung dieser Organe geliefert haben, fassen dieselben als Protonephridien auf, und zweifeln nicht an deren exkretorischer Natur. Wohl aber tut dies Meisenheimer (1910), der die Exkretionsorgane der wirbellosen Tiere zusammenfassend bearbeitete. Dieser weist auf die Möglichkeit hin, daß diese Organe event. auch nur Anhangsgebilde des bei den Kratzern sehr komplizierten Geschlechtsapparates sein könnten.

2h) Geschlechtsorgane. Auch die Geschlechtsorgane der einzelnen Gruppen der Rundwürmer sind so verschieden gebaut, daß wir sie hier getrennt behandeln müssen. Im allgemeinen sind die Nemathelminthen getrenntgeschlechtlich; nur wenige Nematoden machen eine Ausnahme, indem sie protandrische Hermaphroditen sind (mehrere Rhabditisarten, die parasitischen Generationen von Angiostomum nigrovenosum, Allantonema und andere) oder sich parthenogenetisch vermehren (Rhabditis Schneideri).

Die Geschlechtsorgane der Nematoden, bei denen die Männchen meist kleiner als die Weibchen und durch ein hakenförmig gebogenes Hinterende ausgezeichnet sind, sind in beiden Geschlechtern röhrenförmig gebaut und erzeugen in ihrem oberen Abschnitt die Keimzellen, während in den unteren Teilen diese aufbewahrt und ausgeführt werden (Fig. 9).

Die Ovarien sind in der Regel paarig und beginnen mit einem sehr dünnen fadenförmigen Keimlager. In diesem entstehen die Eier, die sich weiter nach dem folgenden Abschnitt des Organs, dem Ovidukt zu in Reihen anordnen, wobei sie alle mit einem stielartigen Fortsatz einem protoplasmatischen Strange, der Rhachis, anhängen, durch welche sie wahrscheinlich in der ersten Zeit ernährt werden (Fig. 10). Die Eileiter, welche mit den Ovarien aus einer einzigen Zelle herstammen, bilden die sich allmählich zu Uteri erweiternde Fortsetzung der Ovarien und pflegen bei größeren Formen, wo sie sehr lang sind, vielfach zwischen Darm und Körperwand hin und her geschlungen zu sein. Die beiden Uteri vereinigen sich zu einer kurzen ektodermalen Vagina, die

durch eine in der ventralen Medianlinie gelegene Vulva manchmal in der Nähe des Vorderendes, meist aber mehr in der Körpermitte, gelegentlich auch nahe dem Hinterende nach außen mündet.

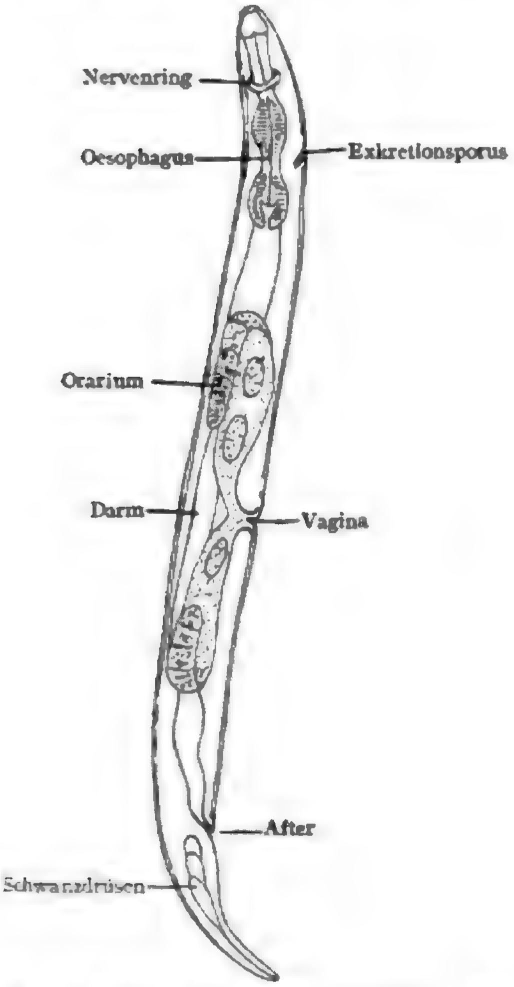


Fig. 9. Schema eines ♀ Nematoden. Nach Jägerskiöld.

Bei den männlichen Nematoden ist ein unpaarer Hoden vorhanden, der wie die Ovarien mit einem fadenförmigen Keimlager beginnend sich zu einem geraden oder vielfach gewundenen Schlauch, dem Samenleiter, erweitert, an dem man öfters eine als Samenblase bezeichnete Auftreibung und den muskulösen Endabschnitt, den ventral vom Darm nach hinten laufenden Ductus ejaculatorius unterscheiden kann. Der letztere mündet gemeinsam mit dem Enddarm durch die Kloake in der Nähe des Hinterendes nach außen. In dorsalen taschenförmigen Ausbuchtungen der Kloakenwand pflegen zwei (seltener eines) chitinöse stäbchenförmige Gebilde, die Spicula, zu liegen, die durch besondere Muskeln bewegt werden können und bei der Begattung aus der Kloakenöffnung hervorgestreckt und in die Vagina eingeführt werden, um so als Haftorgane, vielleicht auch als Stimulationsapparat zu dienen (Fig. 11). Einen

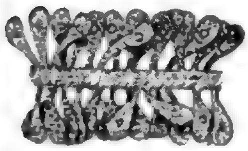


Fig. 10. Rhachis mit anhängenden Eiern von Ascaris. Nach Leuckart.

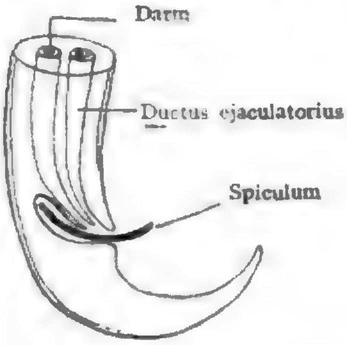


Fig. 11. Schema des Hinterendes eines ♂ Nematoden.

besonderen Haftapparat besitzen die männlichen Strongylidae in Gestalt zweier flügelförmiger durch chitinöse Spangen gestützter Anhänge am Hinterende, welche zusammen die Bursa copulatrix bilden (Fig. 12). Selten sind saugnapfartige Bildungen. Manchmal fehlen alle Haftapparate und werden dann durch die in Form eines Begattungsgliedes vorstülpbare Kloakenmündung ersetzt (Trichinella). Auch die Samenmutterzellen nehmen wie die Eizellen ihren Ursprung an einer Rhachis, die aber in diesem Falle verästelt zu sein pflegt.

Die Spermatozoen der Nematoden unterscheiden sich durch ihren Bau von denen der meisten anderen Tiere, indem sie kegelförmig oder kugelig gestaltet und amöboid beweglich sind, bei Ascaris außerdem einen lichtbrechenden kegelförmigen Körper enthalten (Fig. 13).

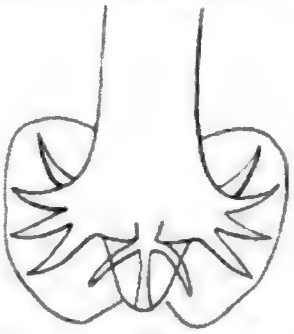


Fig. 12. Bursa von Ancylostoma duodenale.

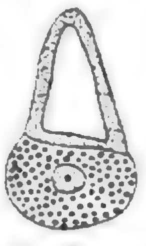


Fig. 13. Spermium von Ascaris. Nach van Beneden.

Es kann hier nur kurz erwähnt werden, daß die Geschlechtszellen der Nematoden, speziell von Ascaris, seit längerer Zeit bis heute eines der am meisten und genauesten untersuchten Objekte bei der Erforschung der Reifungsteilungen und der eigentümlichen dabei zutage tretenden Chromatinverhältnisse des Zellkerns sind. Von den zahlreichen Forschern, die sich um diese Dinge mit Erfolg bemüht haben, seien hier nur Van Beneden, Boveri,

Digitized by Google

A. Brauer und O. Hertwig genannt. Die Geschlechtszellen von Ascaris erweisen sich deshalb für die Untersuchung als besonders geeignet, weil sie einmal in jedem einzelnen reifen Wurm in ungeheurer Zahl auftreten, sodann aber, weil bei ihnen das Chromatin in der verhältnismäßig geringen Zahl von 4 (Ascaris megalocephala bivalens), ja mitunter, sogar nur in 2 (Ascaris megalocephala univalens) langen schleifenförmigen Chromosomen auftritt, die sich deutlich voneinander abheben. In neuester Zeit ist es Boveri (1909) sogar gelungen, bei der Entwickelung der Geschlechtszellen einen wahrscheinlich geschlechtsbestimmenden Faktor in Gestalt eines den Heterochromosomen der Insekten ähnlichen Chromatinbestandteiles nachzuweisen.

Die Geschlechtsorgane der Gordiidae, deren Männchen man äußerlich an zwei blattförmigen Anhängen des Hinterendes erkennen kann, sind in beiden Geschlechtern paarig und münden mit dem Darm in eine Kloake. Die gelappten Ovarien hängen den Mesenterien in großer Zahl an, so daß Vejdovsky zu der Meinung kam, er habe eine segmentierte Keimdrüse vor sich. Rechts und links von dem dorsalen Mesenterium liegen auch die beiden Eibehälter, die sich hinten in kurze Ovidukte fortsetzen und in einen Uterus münden, in dem die Eier befruchtet und in eine Kittmasse eingebettet werden. Das Ganze steht durch ein Atrium mit der Kloake in Verbindung, in welche auch ein Receptaculum mündet (s. Fig. 6).

Von Nectonema kennt man zwar die mit Eiern gefüllten Weibchen, aber keine Ovarien. Bei den Männchen ist ein dorsaler unpaarer Hoden und ein sich hinten ventral nach außen öffnendes Vas deferens bekannt, doch hat neuerdings Nierstrasz bei Nectonemen der Siboga-Expedition den paarigen Bau des vorderen Hodenabschnittes und paarige Samenleiter beschrieben.

Die Männchen der Acanthocephali, welche kleiner sind als die Weibchen, besitzen zwei ovale, meist hintereinander liegende, in das Ligament, das sich vom Grunde der Rüsselscheide durch den ganzen Körper ausspannt, eingebettete Hoden, aus denen zwei Vasa deferentia entspringen, die sich alsbald zu einem unpaaren Ductus ejaculatorius vereinigen und in Gestalt eines kegelförmigen Penis im Grunde einer ausstülpbaren glockenförmigen Bursa am Hinterende ausmünden. Das hintere Ende des Ductus ejaculatorius ist von 6 großen Drüsenzellen (Prostata-, Kittdrüsen) umgeben (Fig. 14).

Bei den Weibchen sind in der Jugend in dem Ligament zwei Ovarien vorhanden, die dann aber in einzelne Zellhaufen (Placentulae, flottierende Ovarien) zerfallen, das Ligament durchbrechen und in die Leibeshöhle geraten. Ein besonderer Apparat führt die Eier nach außen, der sich aus der frei in die Leibeshöhle mündenden Uterusglocke, dem Uterus und einer am hinteren Körperende ausmündenden Scheide

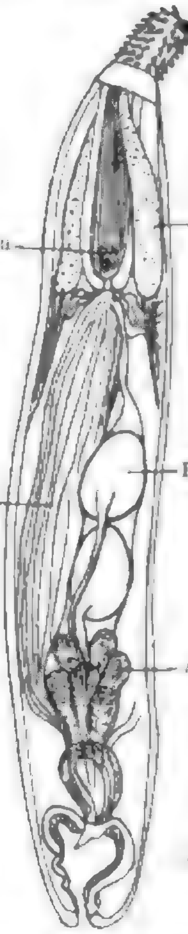


Fig. 14. ♂ von Echinorhynchus angustatus. Nach Leuckart.

zusammensetzt. Die einen Hohlmuskel darstellende Uterusglocke besitzt vorn und hinten eine Oeffnung und nimmt durch Schluckbewegungen alle in der Leibeshöhle flottierenden Körper auf (Fig. 15). Die Befruchtung

Fig. 15. Uterusglocke von einem ♀ Echinorhynchus. Nach Kaiser.

Digitized by Google

der Eier und die Embryonalentwickelung bis zum Larvenstadium findet in der Leibeshöhle statt, und so gelangen unreife und langgestreckte, Embryonen enthaltende Eier in die Glocke, wo sie durch eine besondere Vorrichtung, Einengung des Lumens durch große Zellen, in der Weise ausgelesen werden, daß nur die letzteren durch paarige hintere „Glockenschlundgänge" in den Uterus gelangen, alles andere aber durch die untere Oeffnung in die Leibeshöhle zurückkehrt.

3. **Die Entwickelungssgechichte** (Ontogenie). Die Entwickelung der Nemathelminthen ist entweder eine direkte oder eine solche, bei der Larvenstadien eingeschoben werden, womit die Lebensweise und ein etwaiger Parasitismus in engem Zusammenhang stehen. Die Eier entwickeln sich bald im Freien, bald im Muttertier. Wegen der großen Verschiedenheiten in der Entwickelung, welche sich bei den einzelnen Formen finden, sollen hier nur die allgemeinen Gesichtspunkte behandelt werden, während in dem Abschnitt über die Biologie sich speziellere Angaben wenigstens für die wichtigsten Vertreter der Rundwürmer finden.

Die Eier der Nematoden werden immer im Uterus befruchtet, wo sie dann mit einer Schale umgeben werden, die oft sehr fest und dick sein kann, und auf die sich mitunter noch eine eiweißähnliche Masse ablagert. Die Gestalt der Eier der einzelnen Arten ist eine so charakteristische, daß man fast immer in der Lage ist, nach ihnen die Speziesdiagnose zu stellen. Meist werden die befruchteten Eier mit mehr oder weniger weit entwickelten Embryonen abgelegt, nur selten lebende Junge geboren, nachdem die in diesem Falle nur dünnschaligen Eier bereits im Uterus ihre Hülle verloren haben (Trichinella, Filaria).

Als Objekt für die Erforschung der Furchung des Nematodeneies diente wieder Ascaris. Auch hier können von den zahlreichen darum verdienten Forschern nur einige der wichtigsten genannt werden: Boveri, Zoja, Zur Strassen. Die Furchung der daraufhin untersuchten Vertreter einiger anderer Familien weist den gleichen Typus auf, so daß hier kurz die Furchung von Ascaris als Paradigma der Nematodenentwickelung erläutert sein mag.

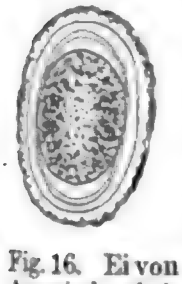


Fig. 16. Ei von Ascaris lumbricoides.

Die kleine kugelige, verhältnismäßig dotterarme Eizelle teilt sich in eine dorsale somatische Urzelle I. Ordnung S_1 und eine eine ventrale Keimbahnzelle oder Stammzelle I. Ordnung P_1 (Fig. 17A). Die zweite Furche teilt S_1 in zwei hintereinanderliegende Ektodermzellen A und B, und P_1 in die Ursomazelle II. Ordnung S_2 (oder EMSt) und eine Keimbahnzelle oder Stammzelle II. Ordnung P_2, die beide zunächst untereinander liegen, so daß das Vierzellenstadium eine charakteristische T-förmige Figur darstellt (Fig. 17 B).

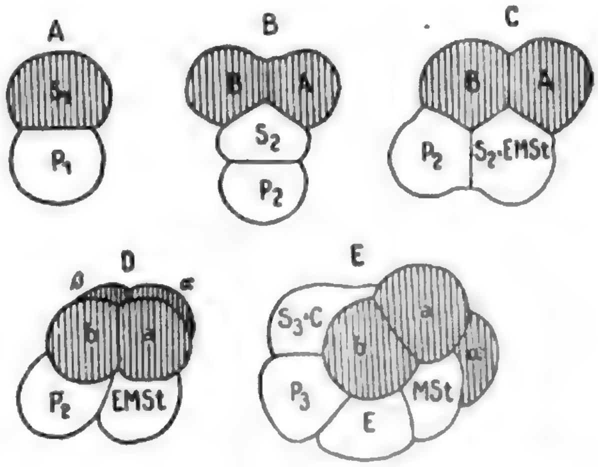


Fig. 17. Furchung von Ascaris megalocephala, A—D nach Boveri, E nach Zur Strassen.

Dann aber entsteht durch Verschiebung von P_2 nach hinten eine rhombische Figur, wobei alle 4 Zellen jetzt in einer Ebene, der Medianebene des späteren Embryos liegen (Fig. 17C). A und B teilen sich in je eine rechte und linke Zelle a und α, resp. b und β, die beiden ventralen Zellen jedoch in der Längsrichtung, so daß aus ihnen 4 hintereinanderliegende Zellen entstehen, von vorn nach hinten MSt (Anlage des Mesoderms und der Stomatoblasten), E (Urentodermzelle), P_3 (Keimbahnzelle oder Stammzelle III. Ordnung) und S_3 (Ursomazelle III. Ordnung, meist als Schwanz oder Caudalzelle mit C bezeichnet) (Fig. 17D u. E).

Es mag hier erwähnt werden, daß sich bei der Ascarisfurchung die somatischen Zellen von den Keimbahnzellen auch in bezug auf das Verhalten ihres Chromatins unterscheiden, indem bei ihnen die sogenannte Chromatindiminution auftritt; bei den Keimbahnzellen dagegen bleiben die ganzen Chromosomenschleifen erhalten.

Nachdem das 8-Zellenstadium erreicht ist, ordnen sich die 4 Abkömmlinge von A und B etwas um, wobei im Innern des Zellenkomplexes eine kleine Furchungshöhle auftritt, und sie liefern dann durch wiederholte Teilungen das zellenreiche „primäre Ektoderm", das allmählich den ventralen Zellenkomplex umwächst, so daß auf diese Weise eine Art Gastrulation hervorgebracht wird, die man Epibolie nennen könnte (Fig. 18).

Von den 4 ventralen Zellen teilt sich die vorderste MSt in eine rechte und linke, die Anlage des Stomodäums und der Meso-

Digitized by Google

dermstreifen, E liefert die hintereinanderliegenden Entodermzellen E I und E II, deren Derivate den ganzen Mitteldarm bilden, P_3 teilt sich in die Keimbahnzelle P_4 und die dahinterliegende Zelle S_4 (Ursomazelle IV. Ordnung, gewöhnlich mit D bezeichnet). Ihre Descendenten sind nicht

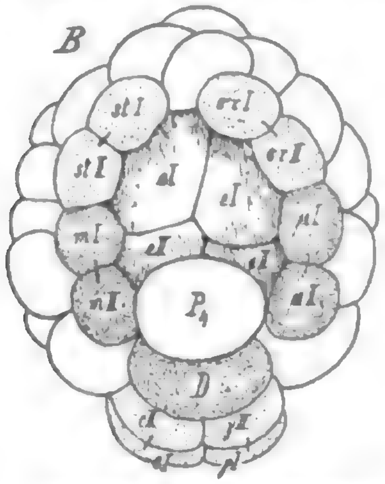


Fig. 18. Späteres Furchungsstadium. Nach Boveri.

ganz sicher bestimmt; nach den Angaben der einen liefern sie das Proktodäum, nach anderen einen tertiären Ektoblasten oder eine Verlängerung der Mesodermstreifen nach hinten. C liefert eine rechte Zelle c und eine linke γ, die sich gleich wieder in die 4 „Schwanzzellen" teilen, die dann unter lebhafter Vermehrung seitlich und dorsal vordringen, wobei sie das primäre Ektoderm vor sich herdrängen, dessen Zellen auf diese Weise allmählich ganz von ihnen überwachsen werden. Diese Abkömmlinge von C liefern die gesamte Körperbedeckung, das „sekundäre Ektoderm". Wie Zur Strassen vermutet, geht aus dem in die Tiefe gerückten primären Ektoderm das Nervensystem hervor.

Die Keimbahnzelle P_4 teilt sich in 2 hintereinanderliegende Zellen G und G_1, deren Nachkommen keine Chromatindiminution mehr erfahren, sondern als Urgenitalzellen zunächst liegen bleiben, um später die Geschlechtsorgane zu liefern. — Der Urmund schließt sich von hinten nach vorn.

Damit ist der Rahmen, in dem die weitere Entwickelung verläuft im allgemeinen festgelegt. Wir sehen also, wenn wir die Verhältnisse bei Ascaris auf die Nematoden verallgemeinern, daß die Furchung bei ihnen eine totale, und wie hier hinzugefügt werden kann, meist eine inäquale ist, bei der sich von Anfang an eine besondere Keimbahn festlegen läßt, deren Zellen von vornherein bestimmt sind, die Geschlechtsorgane zu liefern. Gleichzeitig zeichnet sich dieser Furchungsmodus dadurch aus, daß das Schicksal der einzelnen Zellen im normalen Entwickelungsgeschehen ein ganz fest bestimmtes ist, so daß wir hier einen streng determinierten Furchungsverlauf, eine „Mosaikarbeit" im Sinne Wilsons vor uns haben.

Die weitere Entwickelung der Nematoden erweist sich ebenso wie auch manche Erscheinungen bei der Furchung als eine wahrscheinlich außerordentlich abgekürzte, deren ehemaliger Verlauf durch die Verkümmerung gewisser Anlagekomplexe sehr entstellt wurde.

Die Eier mit den bei den verschiedenen Formen verschieden weit entwickelten Embryonen gelangen aus dem Wirtstier, in dem sich ja der Mutterwurm gewöhnlich befindet, auf den natürlichen Wegen ins Freie, in feuchte Erde oder ins Wasser, wo die Entwickelung dann weiter geht. Die dickschaligen Eier vieler Arten vertragen auch eine kürzere oder längere Trockenheit, während der die Entwickelung des Embryos mehr oder weniger sistiert.

Schließlich entsteht ein langgestreckter, zylindrischer Embryo, der sich wenigstens bei den freilebenden Formen in seinem Bau immer mehr dem der erwachsenen seiner Art nähert, und bereits so lang wird, daß er sich in der Eihülle aufrollen muß. In diesem Falle ist die Entwickelung dann eine direkte.

Bei den parasitisch lebenden Arten schiebt sich dagegen meist ein „Larvalstadium" in den Ablauf der Entwickelung ein, indem die Embryonen besondere Charaktere annehmen, die sie später durch eine Metamorphose ablegen müssen, um dann erst die definitive Gestalt zu bekommen. Gewöhnlich kennzeichnen sich das Vorderende und das Hinterende solcher Larven in bestimmter Weise durch ihren Bau gegenüber denen der Erwachsenen. Nicht selten findet sich in der Mundhöhle ein stilettförmiger Bohrzahn. Viele Nematodenlarven weisen eine doppelte muskulöse Anschwellung des Oesophagus mit einem Zahnbesatz (meist 3 Zähne) in dessen hinterem Bulbus und ein zugespitztes Hinterende auf, so daß man allgemein in dieser bei den parasitischen Fadenwürmern so häufig wiederkehrenden „Rhabditis-förmigen Larve" eine phyletische Larvenform sehen will.

In manchen Fällen gelangen die Embryonen noch in der Eihülle in den Darm des Wirtes, wo sie dann ausschlüpfen und sich festsetzen. Nicht selten sind es die bereits im Wasser von der Eihülle befreiten kleinen Würmer, die sich mehrmals gehäutet haben und beträchtlich gewachsen sein können, welche von dem betreffenden Wirt mit der Nahrung aufgenommen werden. Auch

Digitized by Google

sie siedeln sich dann nach dem Ablegen ihrer Larvencharaktere in dem Darm an.

Oefters bedürfen die Larven des Aufenthalts in einem oder sogar zwei Zwischenwirten, in die sie aktiv oder passiv gelangen und in denen sie sich meist mit einer festen Hülle umgeben, sich encystieren. Diese eingekapselten bleiben ruhig liegen, bis sie auf irgendeine Weise in den Endwirt gelangen, wo sie dann erst geschlechtsreif werden können. Ebenso erlangen die nicht encystierten Larven in den Zwischenwirten erst nach dem Uebergang in den definitiven Wirt ihre Geschlechtsreife.

Wie schon früher erwähnt wurde, pflegen sich die Larven mehrmals zu häuten, jedoch nach zahlreichen Beobachtungen im Ganzen nie mehr als viermal, so daß in solchem Falle sich das Leben der betreffenden Nematoden in 5 Abschnitten abspielt.

Schließlich ist hier noch zu erwähnen, daß eine Anzahl von Nematoden sich durch das Vorhandensein eines Generationswechsels auszeichnen, indem bei ihnen eine freilebende getrenntgeschlechtliche Generation (Rhabditis-Form) mit einer anders gebauten parasitischen, die sogar hermaphrodit zu sein pflegt, abwechselt, so daß also Heterogonie vorliegt (Angiostomum nigrovenosum).

Die Entwickelung der in großer Zahl abgelegten Eier der Nematomorpha ähnelt der der Nematoden, doch ist sie nicht so genau wie jene bekannt. Es entstehen Larven, die einen mit Haken besetzten Rüssel aufweisen und in die Larven von Wasserinsekten, auch wohl in Mollusken eindringen, um sich dort zu encystieren (Fig. 19). Mit dem Zwischenwirt gelangen sie dann meist in Raubinsekten des Wassers, in deren Leibeshöhle sie längere Zeit hindurch leben, heranwachsen und eine Metamorphose in die definitive Form durchmachen, um endlich als lange Würmer sich aus dem Insektenkörper zu befreien und in das Wasser zu gelangen (Fig. 20). Erst hier werden sie geschlechtsreif und begatten sich, worauf die Weibchen die befruchteten Eier ins Wasser ablegen (Camerano 1897). Nach Villot sollen manche der Larven mit dem Zwischenwirt in Fische gelangen, in deren Körper sie sich ein zweites Mal encystieren, worauf sie nach außen durchbrechen, um dann ebenfalls geschlechtsreif zu werden.

Fig. 19. Larve eines Gordiiden mit doppeltem Hakenkranz. Nach Hartmeyer.

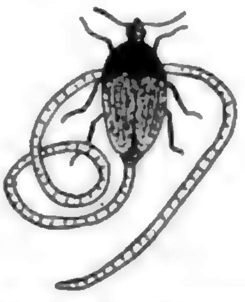


Fig. 20. Gordius aquaticus aus einem Käfer auswandernd. Nach Vosseler.

Die im allgemeinen spindelförmigen Eier der Acanthocephali besitzen 3 Schalen, von denen die mittlere die dickste ist. Sie werden in der Leibeshöhle der Weibchen befruchtet und machen hier die gesamte Entwicklung bis zur Ausbildung des sehr langgestreckten Embryos durch. Genauere Angaben über die Embryonalentwicklung der Kratzer verdanken wir Hamann (1891) und Kaiser (1893). Nach letzterem erfolgt die Gastrulation bereits sehr früh. Es resultieren ein Epiblast aus flachen, polyedrischen und ein Hypoblast aus großen rundlichen Zellen (Fig. 21). Der anfangs sehr große ventrale Urmund schließt sich durch die rasche Vermehrung der Epiblastzellen, von denen die hinteren einen Haufen kleiner Mesodermzellen liefern. Durch Teilungen der Hypoblastzellen werden deren Derivate den eben erwähnten Mesodermzellen ganz ähnlich, so daß wieder ein Embryo mit nur zwei Schichten resultiert. Die äußere Schicht liefert die Cuticula, das hypodermale Fasergeflecht, das Zentralnervensystem, die häutige Auskleidung der Kopulationsorgane und vielleicht den cuticularen Teil des Rüssels, aus der inneren mesodermalen Schicht entwickeln sich die gesamte Muskulatur, das Ligamentum suspensorium und die Keimdrüsen.

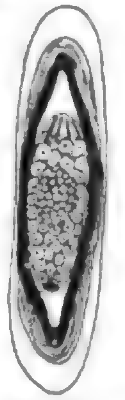


Fig. 21. Gefurchtes Ei von Echinorhynchus. Nach Hamann.

Die Embryonen gelangen, immer noch in ihren 3 Hüllen, durch die Vermittelung der Uterusglocke ins Freie und dann ins Wasser, wo sie von kleinen Krebsen oder Insekten aufgenommen werden, in deren Darm sie dann ausschlüpfen, um als schlanke, am abgestutzten Vorderende mit einem Kranz von Haken oder Stacheln versehene, hinten zugespitzte, lebhaft bewegliche Larven die Darmwand zu durchbohren. In der Leibeshöhle des betreffenden Arthropoden verlieren sie die Embryonalkaken und bleiben dort zunächst als eine Art Puppenstadium in der Gestalt kleiner Echinorhynchen ruhig liegen. Sie besitzen hier alle Organe der Erwachsenen mit Ausnahme der Gonaden. Damit sie weiter wachsen und geschlechtsreif werden, bedarf es auch bei ihnen der

Uebertragung in den Darm des definitiven Wirtes, der immer ein Wirbeltier ist. Manche Arten müssen sogar erst noch den Körper eines zweiten Zwischenwirtes passieren.

4. **Systematische Einteilung.** (Nach dem Lehrbuch von Claus-Grobben.)

Klasse Nemathelminthes (Rundwürmer).

I. Ordnung Nematodes (Fadenwürmer).

Familie Enoplidae. Sehr kleine Nematoden, oft mit Borsten und Haaren am Vorderkörper. Bulbus fehlt am Oesophagus, oft auch die Seitenkanäle, die dann durch die „Ventraldrüse" ersetzt werden. Freilebend im Meer und Süßwasser oder in der Erde. Dorylaimus maximus. Dorylaimus stagnalis im Schlamm gemein. Enchelidium marinum. Enoplus tridentatus marin.

Familie Desmoscolecidae. Sehr kleine Würmer mit ringförmigen Cuticularverdickungen. Desmoscolex.

Familie Chaetosomatidae. Sehr kleine Würmer mit einem mehr oder weniger dichten Besatz von feinen Härchen auf der Cuticula. Chaetosoma. Rhabdogaster.

Familie Anguillulidae. Meist kleine Würmer mit doppelter Anschwellung des Oesophagus, öfters Stilett in der Mundhöhle. Männchen mit 2 Spicula; Bursa selten. Weibchen mit spitzem Hinterende. Seitenkanäle nicht selten durch „Bauchdrüsen" ersetzt. Parasitisch in Pflanzen und Tieren, oder in gärenden und faulenden Stoffen, die meisten frei in der Erde oder im Wasser.

Tylenchus scandens (Anguillula tritici, Weizenälchen).

Tylenchus dispaci in den Blütenköpfen der Weberkarde.

Heterodera schachti an den Wurzeln der Runkelrübe, auch des Kohls, des Weizens, der Gerste. (Erzeuger der Rübenmüdigkeit.)

Rhabditis teres in feuchter Erde und faulenden Substanzen.

Anguillula aceti Essigälchen oder Kleisterälchen, 1 bis 2 mm lang.

Angiostomum nigrovenosum mit Heterogonie. Freilebende Rhabditis-Generation getrennt geschlechtlich, die größere hermaphrodite Form in der Froschlunge.

Strongyloides stercoralis, parasitisch als Anguillula intestinalis im Darm vom Menschen, in Cochinchina, Japan, Amerika, Afrika und Italien (Erzeuger der cochinchinesischen Diarrhöe), freilebende Form getrennt geschlechtlich.

Leptodera appendiculata in feuchter Erde, eine Zwischengeneration in Arion empiricorum.

Allantonema mirabile ohne Darm in der Leibeshöhle von Hylobius pini, mit getrennt geschlechtlicher Rhabditis-Generation.

Atractonema gibbosum in der Leibeshöhle der Larve von Cecidomyia pini ohne Mund und After, Darm nur Zellstrang.

Sphaerularia bombi. In der Leibeshöhle überwinternder Hummelweibchen.

Familie Mermitidae. Afterlos mit langem fadenförmigem Leib. 6 Mundpapillen. Mitteldarm zu einem Fettkörper umgewandelt. Hinterende des Männchens verbreitert. In der Leibeshöhle von Insekten; wandern mit dem Nahen der Geschlechtsreife in feuchte Erde aus. Mermis nigrescens. Mermis albicans. Paramermis contorta.

Familie Gnathostomidae. Der fast zylindrische Körper ganz oder nur im vorderen Teile mit Dornen bedeckt.

Gnathostoma hispidum im Magen des Schweines.

Familie Filariidae. Langer fadenförmiger Körper, meist mit 6 Mundpapillen, zuweilen hornige Mundkapsel. Hinterende der Männchen gekrümmt oder spiralig eingerollt.

Filaria (Dracunculus) medinensis. Medina- oder Guineawurm.

Filaria immitis im rechten Herzventrikel und Venensystem des Hundes.

Filaria bancrofti in den Lymphgefäßen des Menschen in den Tropen.

Filaria papillosa im Peritoneum und Auge von Rind und Pferd.

Filaria loa in der Konjunktiva der Neger.

Familie Trichotrachelidae. Sehr langer und dünner Vorderkörper. Oesophagus ein Chitinrohr exzentrisch in einer Zellenreihe.

Trichocephalus trichiurus (dispar), Peitschenwurm.

Trichocephalus affinis im Darm des Schafes. Trichocephalus crenatus im Darm des Schweines.

Trichosomum crassicauda in der Harnblase der Wanderratte.

Trichinella (Trichina) spiralis, Trichine.

Familie Strongylidae. Männchen mit schirm- oder glockenförmiger Bursa.

Eustrongylus gigas, Pallisadenwurm. Weibchen bis 100 cm lang. Vereinzelt im Nierenbecken von Robben und Fischottern, sehr selten im Menschen.

Strongylus apri (paradoxus). Strongylus filaria. Strongylus commutatus. Strongylus auricularis.

Ancylostoma (Dochmius) duodenale, Hakenwurm, im Dünndarm des Menschen, Erzeuger der Grubenwurmkrankheit.

Necator americanus im Menschen.

Sclerostomum equinum. Cucullanus elegans im Barsch.

Familie Ascaridae. Ziemlich gedrungener Körper. 3 Mundpapillen. Hinderende der Männchen gekrümmt.

Ascaris lumbricoides, Spulwurm im Menschen.

Ascaris megalocephala im Pferd. Ascaris canis (mystax).

Oxyuris vermicularis, Madenwurm oder Pfriemenschwanz.

II. Ordnung Nematomorpha.

Familie Gordiidae (Saitenwürmer). Ohne dorsale Medianlinie und Seitenlinien. Männchen mit gegabeltem Hinterende. In der Jugend parasitisch in Insekten des Süßwassers; geschlechtsreif im Wasser oder in feuchter Erde.

Gordius aquaticus (villoti); Parachordodes (Gordius) tolosanus. Paragordius varius.

Familie Nectonemidae. Dorsale und ventrale Medianlinie vorhanden; längs derselben 2 Reihen haarförmiger Borsten. Das

Digitized by Google

konische Hinterende der Männchen ventralwärts gebogen.

Nectonema agile.

III. Ordnung Acanthocephali.

Familie Echinorhynchidae (Kratzer). Der walzenförmige Körper vorn mit hakentragendem einstülpbarem Rüssel. Darm fehlt. Parasitisch in Wirbeltieren.

Echinorhynchus polymorphus im Darm von Wasservögeln (Ente), Larve in Gammarus und Flußkrebs.

Echinorhynchus proteus in der Forelle, Larve in Gammarus und in der Leibeshöhle und Leber von Phoxinus.

Echinorhynchus angustatus.

Echinorhynchus gigas, Riesenkratzer (bis 65 cm lang).

Echinorhynchus moniliformis.

5. Biologie und Verbreitung. Ein sehr großer Teil der Rundwürmer führt eine parasitische Lebensweise, wobei wenige an Pflanzen, die meisten in Tieren schmarotzen. Der Parasitismus bringt es mit sich, daß diese Würmer zum mindesten einen großen Abschnitt ihres Lebens, meist das erwachsene Stadium, in den Organen ihres Wirtes, am häufigsten im Darm, mehr oder weniger festgeheftet sitzen und außer der Aufnahme der Nahrung aus dem sie umgebenden Speisebrei des Wirtes oder aus dessen Blut durch die Mundöffnung oder auf osmotischem Wege durch Vermittelung der ganzen Körperoberfläche, nur das Begattungsgeschäft zu verrichten haben. So führen denn die Nemathelminthen im allgemeinen auch keine größeren Bewegungen mit ihrem Körper aus und verändern ihren Aufenthalt höchstens innerhalb des engen Bezirkes des Organs, in dem sie schmarotzen.

Etwas freier beweglich sind vor allem die freilebenden Jugendstadien solcher parasitischen Formen, die nicht selten durch aktive Wanderungen sich ihren Wirt, eventuell auch einen Zwischenwirt aufsuchen müssen. Ebenso pflegen die zahlreichen ständig freilebenden Nematodenarten, die meist im Wasser, sowohl im salzigen wie im süßen sich aufhalten, dort durch lebhaft schlängelnde Bewegungen ihren Ort zu verändern und so ihrem Nahrungserwerb nachzugehen oder zur Zeit der Geschlechtsreife das andere Geschlecht zu suchen, denn bei fast allen Nemathelminthen findet eine innere Befruchtung der Eier in Verbindung mit einer Kopulation statt.

In manchen Fällen wandern nun auch die erwachsenen Individuen der parasitischen Formen in dem Körper ihres Wirtes, entweder um sich selbst in von dem ursprünglichen Aufenthaltsort entferntere Organe zu begeben und sich dort einzukapseln, wie das auch in den Zwischenwirten geschehen kann, oder um ins Freie zu gelangen und dort ihre Brut abzulegen. Hieraus geht hervor, daß es sich dabei in erster Linie um die weiblichen Vertreter der betreffenden Spezies handelt.

Die Nahrung der Nematoden ist wohl meist eine flüssige, indem diese Würmer einfach das feuchte Medium, in dem sie leben, aufsaugen und durch ihren Darm passieren lassen. Da, wo ein solcher fehlt, wie auch bei den Kratzern, wird die Nahrung in flüssiger Form durch Vermittelung der Haut auf osmotischem Wege in den Körper aufgenommen. Beim Saugen macht der Oesophagus langsame von vorn nach hinten verlaufende peristaltische Bewegungen, wobei die nötige Erweiterung seines Lumens mit Hilfe der Radiärmuskeln, die Verengerung aber durch die Elastizität seiner Cuticula bewirkt wird.

Meist besteht die Nahrung aus organischen Säften; manche Nematoden saugen auch direkt Blut oder schlagen mit dem Stilett ihrer Mundhöhle resp. mit den dort befindlichen Zähnen Wunden in die Gewebe ihres Wirtes. Da Atmungsorgane vollständig fehlen, so geschieht die Sauerstoffaufnahme aus dem umgebenden Medium auf osmotischem Wege durch die Haut; ja manche parasitisch im Darm lebende Formen scheinen überhaupt ohne eine solche auszukommen. Sie zersetzen lediglich die zur Verfügung stehenden Stoffwechselprodukte und entnehmen diesem Prozeß ihre Lebensenergie.

Der Weg, den solche Parasiten von ihrer Geburt bis zur Geschlechtsreife in dem spezifischen Wirt zurückzulegen haben, ist nicht selten ein recht komplizierter, besonders dann, wenn noch ein oder gar zwei Zwischenwirte als notwendige Passage eingeschoben sind. Da ist es zum großen Teil dem Zufall überlassen, ob ein derartiger Wurm jemals sein Ziel erreicht. Ungeheuere Mengen von Eiern, Embryonen, Larven und sonstigen Altersstufen werden zugrunde gehen, weil es ihnen nicht glückte, die vorgeschriebenen Bedingungen zu erfüllen. Doch wie immer bei parasitischen Organismen, ist auch hier durch mancherlei Anpassungen an eine solche Lebensweise gewährleistet, daß zum mindesten soviele Individuen einer Art erhalten bleiben und Nachkommen erzeugen, daß die Anzahl der jeweils lebenden Artgenossen ziemlich konstant bleibt.

Die eine dieser Anpassungen ist die unter solchen Verhältnissen überall im Tierreich auftretende Produktion enorm großer Mengen von Geschlechtsprodukten. Um nur ein Beispiel zu nennen, bringt ein einziges Weibchen des beim Menschen schmarotzenden Spulwurms nach Angaben von Eschricht jährlich etwa 64 Millionen Eier hervor. Trotzdem sind keinerlei Anzeigen dafür vorhanden, daß etwa die Menge dieser Spulwürmer zunähme, so

Digitized by Google

daß also nur ein verschwindend kleiner Teil jener Eimassen das Ziel erreicht. Gerade bei den Rundwürmern wird im Gegensatz zu anderen parasitischen Tieren, die meist zwitterig zu sein pflegen, die Erhaltung der Art noch dadurch erschwert, daß die Geschlechter fast immer getrennt sind; es müssen daher zur rechten Zeit zwei Individuen derselben Art aber verschiedenen Geschlechtes zufällig zusammentreffen.

Eine weitere nicht unwesentliche Anpassung an ein solches Leben ist die Fähigkeit vieler Nemathelminthen, eine oft ziemlich weitgehende Austrocknung vertragen zu können. Vor allem die in feste Schalen eingeschlossenen Eier sind es, die diese Eigenschaft besitzen, dann aber auch bald die Larvenstadien, bald die erwachsenen Würmer selbst. Die letzteren sind dabei nicht selten an den Encystierungszustand gebunden, wo sie ebenfalls durch eine feste Hülle vor völligem Wasserverlust geschützt sind; teilweise aber, und das gilt namentlich für die kleineren Nematoden, vertragen sie auch ohne diesen Schutz das Verbleiben in einem trockenen Medium, wobei sie ebenso wie die encystierten in einen Zustand der Bewegungslosigkeit verfallen. Die als Larven in gichtkranken Weizenkörnern bewegungslos eingeschlossenen Weizenälchen erwachen nach dem Anfeuchten zum Leben und zwar auch dann noch, wenn sie 27 Jahre lang eingetrocknet waren. Maupas hat zahlreiche Angaben über das Austrocknungsvermögen der Nematoden gemacht.

Es mögen hier nun die kurzen Beschreibungen des Entwickelungsverlaufes einiger besonders interessanter oder für den Menschen wichtiger Rundwürmer folgen:

Da ist zunächst das Weizenälchen (Tylenchus scandens), dessen Brut mit den Körnern des Weizens in die feuchte Erde gelangt, dort ausschlüpft und in die keimenden Weizenpflänzchen eindringt; um zunächst zu überwintern. Im Frühjahr suchen die jungen Würmer den Trieb der Pflanze auf, wachsen und werden geschlechtsreif zu der Zeit, wo die Aehren reifen. Nachdem dann die Weibchen befruchtet worden sind, legen sie ihre Eier ab. Die auskriechenden Embryonen verbleiben in den Weizenkörnern, die dadurch gichtkrank werden, d. h. mit braunen runzeligen Auswüchsen behaftet sind, in denen sich Hunderte kleiner Nematoden befinden. Bei der Aussaat gelangen sie dann wieder in den Boden und beginnen den Kreislauf von neuem. Der Schaden, der den Saaten durch die Anwesenheit dieser Nematoden zugefügt wir, ist ein beträchtlicher, so daß die Landwirtschaft mit allen Mitteln auf die Vernichtung dieser Erreger des „Kaulbrandes“ des Weizens bedacht sein muß.

Ein ähnlicher unangenehmer Gast ist Heterodera schachti, der die „Rübenmüdigkeit“ verursacht. Die freilebenden Larven bohren sich in junge Zuckerrüben ein, durchqueren diese und machen dicht unter der Oberhaut der Rübe eine Metamorphose durch, wobei die einen von ihnen, die Weibchen, einen kugelförmig aufgetriebenen Leib von der Gestalt einer Zitrone bekommen. Die darüberliegende Haut der Rübe wölbt sich zunächst vor, platzt schließlich, und aus allen diesen sehr zahlreichen geschwulstartigen Verdickungen des Rübenkörpers ragt je ein Hinterende eines solchen weiblichen Wurmes mit der Geschlechtsöffnung hervor. Die Männchen schwellen zunächst auch in ähnlicher Weise an, häuten sich aber nochmals und durchbrechen die Rübenwand, um in fadenförmiger Gestalt nach außen zu gelangen und dort die der Rübe ansitzenden Weibchen zu begatten. Die Embryonen machen ihre ganze Entwickelung im Mutterleibe durch, dessen Organe sie bei ihrem Heranwachsen mehr und mehr verdrängen, so daß schließlich nur noch die prall mit jungen Würmern gefüllte Haut des Muttertieres übrig bleibt. Diese platzt alsbald, und die jungen Nematoden gelangen in die Erde, um von dort aus neue Rüben zu infizieren. Da die Rüben, welche von solchen zahlreichen Parasiten heimgesucht werden, erkranken und eingehen, muß man aufs sorgfältigste die Brut der Heterodera zu vernichten suchen, was vor allem durch Anpflanzen von sogenannten „Fangpflanzen“ z. B. Sommerraps auf den infizierten Boden geschieht, die mit ihren Wurzeln die jungen Würmer anlocken.

Die Männchen und Weibchen von Angiostomum nigrovenosum (früher für eine besondere Art Rhabditis gehalten) leben im Schlamm und vollziehen dort den Begattungsakt. Im Uterus des Weibchens entwickeln sich ein bis vier junge Würmer, die bald die sie einengende Hülle durchbrechen und nun das Muttertier bis auf die Cuticula von innen heraus auffressen, worauf sie ins Freie gelangen. Sie suchen nun die Lunge eine Frosches auf, wachsen dort zur definitiven Größe heran und bilden eine zweite Generation, die zum Unterschied von der ersten getrenntgeschlechtlichen zwittrig ist und früher als eine besondere Spezies Rhabdonema beschrieben wurde. Aus den in den Schlamm gelangenden Eiern dieser Form geht wieder die Rhabditis-Form hervor, also Generationswechsel und Heterogonie.

Eine solche besteht wahrscheinlich in ganz ähnlicher Weise bei Strongyloides stercoralis, deren parasitische Generation im Menschen vorkommt und die sogenannte cochinchinesische Diarrhöe erzeugt, und die

Digitized by Google

von Leuckart für zwittrig gehalten wurde. Allerdings sind in neuerer Zeit Ansichten laut geworden, daß wir hier vielleicht lediglich sich parthenogenetisch fortpflanzende Weibchen vor uns haben. Die getrennt geschlechtliche Rhabditis-Generation lebt auch hier frei.

Die Hummelälchen, Sphaerularia bombi, leben bis zur Geschlechtsreife und Begattung frei, dann suchen die Weibchen erdbewohnende überwinternde Hummelweibchen auf und dringen in deren Leibeshöhle ein. Während sich in dem Innern des etwa 1 mm langen Sphaerularia-Weibchens die Embryonen entwickeln, stülpt sich dessen Vagina aus, wächst immer größer und nimmt den ganzen Geschlechtsapparat des Tieres in sich auf. Sie wird bis zu 15 mm lang, so daß sich der ehemalige, längst abgestorbene Rumpf nur noch als leerer Anhang daran befindet. Die Jungen gelangen zunächst in die Hummel, dann ins Freie und beginnen den Cyklus von neuem.

Allantonema gibbosum, das in der Leibeshöhle der Larven von Cecidomyia pini lebt, hat eine ähnliche Lebensgeschichte, doch erreicht hier der vorgestülpte Uterus bei weitem nicht jene verhältnismäßig abnorme Größe, wie bei der vorigen Art.

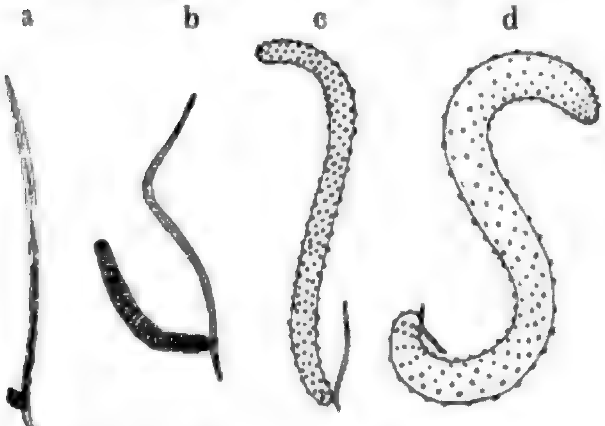


Fig. 22. Das Wachstum des Uterus eines ♀ von Sphaerularia bombi. a am stärksten, d am schwächsten vergrößert. Nach Leuckart. Bei a Beginn der Ausstülpung der Vagina; b und c allmähliche Vergrößerung derselben. In d bildet der Wurmrumpf nur noch einen kleinen fadenförmigen Anhang an dem immens vergrößerten Organ.

Nahe verwandt mit diesen Formen sind die Allantonema-Arten, von denen Allantonema mirabile in Hylobius pini schmarotzt. Die ♂ und ♀ verlassen ihren Wirt, um sich in feuchter Erde zu paaren. Aus den ♀ gehen Larven hervor, die in die Jugendstadien der Käfer eindringen und dort tiefgreifende Veränderungen durchmachen. Der zu einer dicken Wurst werdende Körper der ♀ wird alsbald von einem dichten Netzwerk hypertrophierender Tracheen des Insekts umsponnen und enthält keine anderen Organe mehr, als die Ovarien. Aus ihren Eiern geht dann die auswandernde freilebende Rhabditis-Generation hervor.

Wieder ein Parasit des Menschen ist der in Arabien und den Nilländern heimische Medinawurm, Filaria medinensis. Die 50 bis 80 cm langen geschlechtsreifen und befruchteten Weibchen pflegen im Unterhautzellgewebe ihres Wirtes zu sitzen und besonders an den unteren Extremitäten Geschwüre zu erzeugen (Dracontiasis). Die Embryonen werden durch Platzen dieser Geschwüre meist ins Wasser entleert und infizieren dort kleine Krebse (Cyclops). Sie gelangen dadurch in den Menschen, daß dieser mit unreinem Wasser auch die Krebse verschluckt. Die Weibchen wandern dann nach der Begattung durch den menschlichen Körper an jene erwähnten Stellen, wo sie zu der beträchtlichen Länge heranwachsen.

Ein über die ganze Erde verbreiteter Parasit des Menschen ist Trichocephalus trichiurus, der Peitschenwurm, der im Blinddarm und Colon schmarotzt und sich dadurch auszeichnet, daß er sich mit seinem fadenförmig verlängerten Vorderende tief in die Schleimhaut des Darmes eingräbt. Die Entwickelung der befruchteten hartschaligen Eier findet hier nicht im Muttertiere statt, sondern im Wasser, wohin die Eier mit den Fäces gelangen. Die Larven müssen dann wieder direkt durch den Mund in den menschlichen Darm kommen, um geschlechtsreif zu werden. Da dieser Wurm für gewöhnlich nur in wenigen Exemplaren in einunddemselben Individuum vorzukommen pflegt, so verursacht er keine besonderen Störungen; wohl aber ist das der Fall, wenn zahlreiche Individuen sich im Darm ansiedeln.

Weit gefährlicher ist ein naher Verwandter Trichinella spiralis, die Trichine, die im geschlechtsreifen Zustande sich im Dünndarm des Menschen und zahlreicher Fleischfresser findet. Die 3 bis 3,5 mm langen Weibchen sind vivipar und bohren sich nach der Begattung in die Zotten der Darmwand ein, bis sie meist in die Lymphräume gelangen und dort jedes beinahe 1000 Junge absetzen. Diese geraten in den Lymph- und Blutstrom und kommen so, oft aber auch durch aktive Wanderungen, in die quergestreifte Muskulatur, deren Sarkolemma sie durchbohren, um in die Primitivbündel einzudringen. Die ersten langen am 9. oder 10. Tage nach der Infektion an diesem Bestimmungsorte an. Der Muskel degeneriert an der betreffenden Stelle und scheidet um den Wurm, der alsbald zu wachsen beginnt und sich spiralig aufrollt, eine blasig aufgetriebene Hülle aus, deren anfangs zarte Wände all-

Digitized by Google

mählich mehr und mehr verkalken (Fig. 23); nach 15 bis 16 Monaten kann eine solche Trichinenkapsel vollständig verkalkt sein, nach mehreren Jahren auch die eingeschlossene Trichine selbst, die dabei natürlich eingeht.

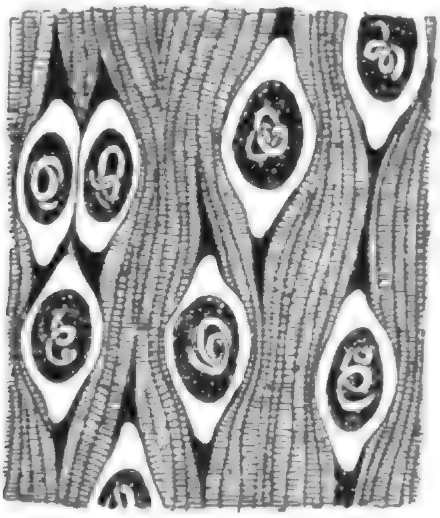


Fig. 23. Ein Stück Stammesmuskulatur vom Schwein mit eingekapselten Trichinen. Nach Braun.

Die eingekapselten, lebenden Trichinen gelangen nun mit dem als Nahrung aufgenommenen Fleisch in den Darm eines Säugers, wo die Kalkhülle durch den Magensaft aufgelöst wird. Die Würmer schlüpfen aus, werden innerhalb 3 bis 4 Tagen bereits geschlechtsreif und begatten sich, um alsbald wieder neue Nachkommen zu liefern, die sich dann in diesem Wirt einkapseln. Der eigentliche Wirt der Trichine ist wohl die Ratte, deren Generationen sich durch den Genuß des Fleisches ihrer Artgenossen immer wieder von neuem infizieren. Sodann gelangen Trichinen in das Hausschwein, das gelegentlich auch Rattenkadaver frißt, und endlich kann sich der Mensch durch trichinöses Schweinefleisch die Parasiten zuziehen. In Kulturländern hat die sorgsam durchgeführte amtliche Fleischbeschau das Vorkommen von Infektionen bereits stark reduziert. Die Infektion mit Trichinen verursacht eine meist schwere Erkrankung des Wirtes (Trichinosis), die vor allem durch die Wanderungen der Brut, die in mehreren Schüben erfolgen, veranlaßt wird, und nicht selten zum Tode führt. Eine Besserung erfolgt gewöhnlich erst in der 4. bis 5. Woche nach der Infektion, und wenn alle Trichinen eingekapselt sind, pflegen die Symptome allmählich zu schwinden.

Ebenfalls im Dünndarm des Menschen schmarotzt Ancylostoma duodenale, der Hakenwurm, der mit seiner Schlundbewaffnung die Darmwand direkt angreift, um an die Blutgefäße zu gelangen und deren Inhalt zu saugen. So erzeugt er durch Blutentziehung die schon lange aus den Nilländern bekannte ägyptische Chlorose, die sich als schwere Anämie kundgibt. Auch hier erfolgt die Befruchtung der Weibchen im Darm, die Eier dagegen gelangen ins Freie, wo sich rhabditisförmige Larven entwickeln, die direkt mit dem Trinkwasser, nach Looss auch durch aktive Wanderungen durch die Poren der Haut und von da nach dem Darm an ihren Bestimmungsort gelangen. Neuerdings ist der Hakenwurm auch mehrfach in Europa aufgetreten und hat zu Epidemien Anlaß gegeben; so zuerst unter den Arbeitern am Gotthard-Tunnels (Tunnelkrankheit), dann unter den Bergwerksarbeitern verschiedner Länder, vor allem im rheinisch-westfälischen Kohlenrevier (Grubenwurmkrankheit, Bergarbeiteranämie). Es zeigte sich, daß der Wurm nur da sich verbreiten konnte, wo die Temperatur nicht weniger als 20° C betrug. Der starke Blutverlust der Befallenen wird weniger durch das Saugen der Würmer hervorgerufen, als vielmehr dadurch, daß diese ihren Anheftungsort oft wechseln, wobei die verlassenen Stellen der Darmwand noch lange weiterbluten.

Der im Menschen nicht seltene Spulwurm (Ascaris lumbricoides) veranlaßt meist keinerlei ernstliche Störungen. Die Eier müssen auch hier ins Wasser oder in feuchte Erde gelangen, wo die Embryonen sich völlig entwickeln, um dann passiv wieder durch den Mund in den Darm des Menschen übertragen zu werden.

Endlich ist noch ein namentlich bei Kindern weit verbreiteter kleiner Wurm zu nennen, Oxyuris vermicularis, der Pfriemenschwanz oder Madenwurm, dessen Weibchen etwa 10 mm lang werden. Die Embryonen des im Dickdarm schmarotzenden Wurmes werden direkt wieder durch den Mund in den Wirt überführt, so daß hier ein Aufenthalt im Wasser ganz in Wegfall kommt. Die Madenwürmer erzeugen dadurch, daß sie namentlich des Nachts durch den After auswandern, ein unangenehmes Jucken, sind aber im allgemeinen nicht weiter schädlich.

Die Rundwürmer sind über alle Länder der Erde verbreitet und finden sich, wie wir sahen, teils freilebend im Süß- oder Seewasser oder in faulenden und gärenden Stoffen, teils leben sie parasitisch in Pflanzen oder Tieren. Dabei ist noch bemerkenswert, daß als Wirte und Zwischenwirte beinahe ausschließlich Vertebraten, dann auch Arthropoden in Betracht kommen.

Literatur. *Th. Boveri, Die Entwickelung von Ascaris megalocephala. Festschr. für Kupfer, 1899.* — **Derselbe**, *Die Potenzen der Ascaris-Blastomeren bei abgeänderter Furchung. Festschr. für Hertwig, 1910.* — **Derselbe**, *Die Blastomerenkerne von Ascaris megalocephala und die*

Digitized by Google

Theorie der Chromosomenindividualität. Arch. f. Zellforschg., 1909, Bd. 3. — **Derselbe,** *Ueber Geschlechtschromosomen bei Nematoden. Ibidem. Bd. 4.* — **A. Brauer,** *Zur Kenntnis der Spermatogenese von Ascaris megalocephala. Arch. f. mikr. Anat., 1893, Bd. 42.* — **M. Braun,** *Die tierischen Parasiten des Menschen, IV. Aufl., 1908.* — **L. Camerano,** *Monografia dei Gordii, Mem. Acad. Tornio, 1897.* — **R. Goldschmidt,** *Mitteilungen zur Histologie von Ascaris, Zool. Anz. 1906, Bd. 29.* — **Derselbe,** *Einiges vom feineren Bau des Nervensystems. Verh. Deutsch. Zool. Ges., 1907.* — **Derselbe,** *Das Nervensystem von Ascaris lumbricoides und megalocephala. I. u. II. Zeitschr. f. wiss. Zool., 1908 u. 1909, Bd. 90 u. 92. III. Festschr. für Hertwig, 1910.* — **O. Hamann,** *Monographie der Acanthocephalen. Jen. Zeitschr. f. Naturwiss., 1891, Bd. 25.* — **Derselbe,** *Die Nemathelminthen, Jena 1895.* — **L. A. Jägerskiöld,** *Beiträge zur Kenntnis der Nematoden. Zool. Jahrb. Anat. 1894, Bd. 7, u. Svensk. Vet.-Akad. Handl., 1901, Bd. 35.* — **E. Kaiser,** *Die Acanthocephalen und ihre Entwickelung, Bibl. Zoolog. 1893, Heft 7.* — **E. Korschelt und K. Heider,** *Lehrbuch der vergl. Entwickelungsgesch., Allgem. Teil, 1902 bis 1909.* — **R. Leuckart,** *Die Parasiten des Menschen, Leipzig 1879 bis 1894.* — **E. Martini,** *Ueber Subcuticula und Seitenfelder einiger Nematoden, Zeitschr. f. wiss. Zool., 1906 bis 1909.* — **E. Maupas,** *La mue et l'enkystement des Nématodes. Arch. Zool. expér. 1899, T. 7.* — **J. Meisenheimer,** *Die Exkretionsorgane der wirbellosen Tiere, Ergebn. u. Fortschr. d. Zool., 1909, Bd. 2.* — **M. Rauther,** *Beitrag zur Kenntnis der Morphologie und der phylogenetischen Beziehungen der Gordiiden. Jen. Zeitschr. Naturwiss., 1905, Bd. 40.* — **Derselbe,** *Ueber den Bau des Oesophagus und die Lokalisation der Nierenfunktion bei freilebenden Nematoden. Zool. Jahrb. 1907, Bd. 23.* — **Derselbe,** *Morphologie und Verwandtschaftsbeziehungen der Nematoden, Fortschr. u. Ergebn. d. Zool., 1909, H. 3.* — **A. Schepotieff,** *Ueber den feineren Bau der Gordiuslarven. Zeitschr. f. wiss. Zool., 1908, Bd. 89.* — **Derselbe,** *Das Exkretionsorgan der Echinorhynchen. Zool. Jahrb. Morph., 1908, Bd. 26.* — **A. Schneider,** *Monographie der Nematoden. Berlin 1866.* — **A. E. Shipley,** *Thread-Worms. Cambridge Natural History, 1901.* — **Fr. Vejdovsky,** *Studien über Gordiiden und Organogenie der Gordiiden. Zeitschr. f. wiss. Zool. 1886, 1888 u. 1894, Bd. 43, 46 u. 57.* — **O. zur Strassen,** *Die Embryonalentwickelung der Ascaris megalocephala. Arch. f. Entwicklgs. Mechan., 1896, Bd. 3.* — **Derselbe,** *Die Geschichte der T-Riesen von Ascaris megalocephala. Bibl. Zool., 1906, H. 40.* — **Derselbe,** *Filaria medinensis und Ichthyonema. Verhandl. Deutsch. Zool. Ges. 1907.*

F. Hempelmann.

Nephrit und Jadeit.

1. Etymologie und Geschichte. 2. Chemische Zusammensetzung. 3. Kristallographische Eigenschaften: Form und Spaltbarkeit; Optische Eigenschaften; Spezifisches Gewicht; Härte, Schmelzbarkeit und Zersetzbarkeit. 4. Aggregate. 5. Vorkommen und Entstehung. 6. Verwendung, Nephritfrage.

1. Etymologie und Geschichte. Nephrit und Jadeit (im künftigen kurz N. u. J.) zeigen bezüglich ihrer stets dichten Struktur, ihrer nicht unbeträchtlichen Härte und ihrer enormen Zähigkeit und Festigkeit, ihrer Durchscheinenheit und ihrer Farbe, kurz ihres ganzen Aussehens und ihrer Beschaffenheit so viel Uebereinstimmendes, daß sie lange Zeit trotz ihrer mineralogischen Verschiedenheit für dasselbe gehalten und auch seit der grauen Vorzeit in derselben Weise verwendet worden sind, auch z. T. jetzt noch werden. Es ist also wohl angebracht, sie hier, abgetrennt von den Mineralien, zu denen sie im System gehören, für sich zusammen zu behandeln, um so mehr, als man vielfach nicht von dem einen sprechen kann, ohne des anderen mit zu gedenken. Daher hat man auch in vielen Fällen für beide den gemeinschaftlichen Namen der Nephritoide benutzt. Trotz ihres meist ziemlich unscheinbaren Aeußeren gehören sie mit zu den merkwürdigsten und namentlich auch kulturhistorisch interessantesten Mineralkörpern, so daß ihnen eine sehr umfangreiche Literatur nach beiden Richtungen hin gewidmet worden ist.

Schon bei den Ureinwohnern unseres Erdteils haben N. u. J. eine ausgedehnte Verwendung zu Waffen, Geräten verschiedener Art, Schmuckgegenständen usw. gefunden. Wir kennen aber keinen Namen aus dem Altertum. Im Mittelalter gingen wohl beide, zusammen mit mancherlei ähnlichen Mineralsubstanzen, unter der Bezeichnung „grüner Jaspis". Sie dienten damals u. a. auch zu Heilzwecken, teils innerlich als Pulver, teils in der Form von Amuletten, gegen Fieber, Geschwülste, Wassersucht, Herzleiden, schwere Geburten, Magenleiden, Schlangenbiß usw. Dieselbe Verwendung zu Amuletten trafen dann die Spanier bei der Eroberung von Mexiko in diesem Lande, aber hier vornehmlich gegen Stein- und Nierenleiden. Daher nannten sie diese Mineralien (zuerst 1565) piedra de la hijada (hijada = Weiche, Nierengegend) und daraus entstand dann bald der abgekürzte Name Jade, der rasch in alle romanischen Sprachen und auch in die englische überging und in denen er noch jetzt üblich ist. Wenig später (wohl 1609) kam dann in Deutschland die aus dem Griechischen (von νεφρός Niere) abgeleitete Bezeichnung: lapis nephriticus (deutsch: Nierenstein, Griesstein) auf, aus der endlich, zuerst in der deutschen Ausgabe von Cronstedts „Versuch einer Mineralogie" durch A. G. Werner 1780,

Digitized by Google

der jetzt übliche Name Nephrit (Nefrit) gebildet wurde.

Damit war aber das Wesen der Sache noch nicht erfaßt; es fanden immer noch viele Verwechslungen der Nephritoide mit anderen ähnlich aussehenden Substanzen statt, was bei der Beschaffenheit unserer Mineralien und dem damals noch recht kümmerlichen Stande der wissenschaftlichen Hilfsmittel nicht zu verwundern ist. Erst die weit später einsetzenden chemischen Untersuchungen bahnten die richtige Erkenntnis an.

Die erste brauchbare Analyse eines echten Nephrits von Schafhäutl ist von 1843, dann folgen rasch die von Rammelsberg, Damour, Scheerer, v. Fellenberg usw. und in der Neuzeit die von Foote und Walden (in R. H. Bishop, vgl. Literatur). Damour stellte 1845 und später 1865 auf Grund seiner eigenen Analysen und der anderer den bis dahin von den Mineralogen an den verschiedensten Stellen des Systems untergebrachten Nephrit zum Tremolit und Strahlstein, mit dem auch alle übrigen Eigenschaften des Nephrits übereinstimmen und heutzutage ist, nach einigem Schwanken von seiten anderer Forscher, kein Zweifel mehr an der Richtigkeit dieser Ansicht.

Die Analysen von Damour von 1863 erlangten noch eine besondere Wichtigkeit dadurch, daß er eine für Nephrit gehaltene grüne Halsbandperle aus China ganz abweichend zusammengesetzt fand. Statt viel $CaO + MgO$ wies er neben SiO_2 viel $Na_2O + Al_2O_3$ und sehr wenig von den erstgenannten Oxyden nach und das spezifische Gewicht war 3,34 statt 3,0 beim Nephrit. Es war ein neues äußerlich dem Nephrit sehr ähnliches Mineral, das er Jadeit nannte. 1865 teilte er neue Analysen davon mit und fand dabei (als Material eines prähistorischen Hammers aus der Bretagne) eine dunkelgrüne, fast schwarze Fe_2O_3-reiche Abart des Jadeit, die er mit dem besonderen Namen Chloromelanit (kurz Chl.) bezeichnete. Die Analysen des Jadeit führten auf die Formel: $Na_2O.Al_2O_3.4SiSO_2$ (bei Chl. bis 8,89 Fe_2O_3 statt Al_2O_3).

Des Cloizeaux lieferte dann durch kristallographische und optische Prüfung zuerst 1881 den Nachweis, daß ein monoklines Mineral der Pyroxengruppe analog dem Spodumen $Li_2O.Al_2O_3.4SiO_2$ (Natronspodumen), oder dem Aegirin $Na_2O.Fe_2O_3.4SiO_2$ vorliegt, was dann 1883 und 1899 Krenner durch eingehende, namentlich auch optische Untersuchungen bestätigte. Jetzt ist auch diese Ansicht allgemein angenommen.

Wir wissen also nunmehr:

Nephrit ist dichter Tremolit oder Strahlstein, Jadeit ist ein dichtes Aggregat des diesen Namen führenden neuen Minerals, das bisher in anderer Form noch nicht gefunden worden ist.

2. Chemische Zusammensetzung. Der Nephrit ist theoretisch nach der Formel: $CaO.3MgO.4SiO_2$, entsprechend: 57,69 SiO_2, 28,85 MgO, 13,46 CaO zusammengesetzt. Die Analysen ergeben jedoch noch geringe Mengen anderer Bestandteile, die auf isomorphen Beimischungen beruhen, wie die folgenden Beispiele zeigen.

1. Geschiebe von Khotan, dunkelgrün, Analyse Foote; 2. Beil, Neuenburger See, olivengrün, Analyse Walden:

	1.	2.
SiO_2	57,14	55,48
Al_2O_3	1,20	0,89
Fe_2O_3	0,12	0,90
FeO	0,21	3,47
MnO	0,04	Spur
MgO	25,67	22,69
CaO	12,65	12,89
Na_2O	0,29	0,80
K_2O	0,08	0,44
H_2O	2,54	3,12
	99,94	100,68

Nach der Berechnung von F. W. Clarke wären beide folgendermaßen zusammengesetzt:

1. 95,83 Nephrit $+ 1,59 NaAlSi_2O_6 + 1,57 CaR_2^{III}SiO_6 + 0,95 H_2O$ (Ueberschuß) = 99,94.

2. 92,09 Nephrit $+ 3,29 NaAlSi_2O_6 +$ .2,62 $NaFe^{III}Si_2O_6 + 2,68 H_2O$ (Ueberschuß) = 100,68

$NaAlSi_2O_6$ entspricht Glaukophan, $NaFeSi_2O_6$ entspricht Riebeckit.

In dieser Berechnung ist angenommen, daß im Nephrit ein Teil des H_2O als Ersatz für MgO anzusehen ist, das immer in etwas zu geringer Menge vorhanden ist, auch wenn FeO entsprechend hinzugezählt wird. Der Nephrit hätte also, wenigstens zum Teil, die Formel: $Ca(H_2,Mg)_3Si_4O_{12}$. Das Material obiger Analysen ist unter dem Mikroskop als frei von Beimengungen erkannt worden.

Dem Jadeit kommt die Formel: $Na_2O.Al_2O_3.4SiO_2$ zu; er enthielte demgemäß: 59,40 SiO_2, 25,25 Al_2O_3, 15,35 Na_2O. Die wirkliche Zusammensetzung eines farblosen, reinen Jadeits von China, 2. eines Chloromelanits, fast schwarz, von Mexiko, beides von Walden gibt die folgende Tabelle:

	1.	2.
SiO_2	57,60	56,69
Al_2O_3	25,75	20,46
Fe_2O_3	—	4,49
FeO	—	0,75
MnO	Spur	Spur
MgO	0,13	1,04
CaO	0,58	3,28
Na_2O	13,31	11,65
K_2O	2,20	1,15
H_2O	0,25	0,48
	99,82	100,59

Nach der Berechnung von F. W. Clarke

Digitized by Google

und S. L. Penfidd wären diese beiden Analysen folgendermaßen zu deuten:
1. 97,27 Jadeit + 0,55 (MgCa)O . Al_2O_3 . 4 SiO_2 (sog Pseudojadeit) + 2,00 unbestimmt = 99,82.
2. 77,86 Jadeit + 9,30 Diopsid + 12,95 Aegirin + 0,48 H_2O = 100,59. Dem Gehalt an Diopsid entsprechend ist hier die Menge der Tonerde, Al_2O_3, etwas kleiner als in Nr. 1.

3. **Physikalische Eigenschaften.** Form und Spaltbarkeit. Beim Nephrit findet man in dem meist sehr feinfaserigen Aggregat ab und zu ein dickeres Individuum, das unter dem Mikroskop deutlich die Spaltbarkeit des Amphibols zeigt. Regelmäßige Begrenzung ist nie zu sehen. Weit günstiger ist der oft ziemlich grobkörnige Jadeit. Auf Querschnitten erkennt man die für Pyroxen charakteristischen zwei nahezu rechtwinkligen Spaltungsrisse; der Winkel der recht vollkommenen und einander ganz gleichen Spaltungsflächen ist, gemessen am Goniometer, = 86° 55′—87° 20′. Dies in Verbindung mit dem optischen Verhalten zeigt, daß der Jadeit zum monoklinen Pyroxen gehört. Einige meßbare Kriställchen, die S. L. Penfield aus einem verhältnismäßig sehr grobkörnigen Jadeit von Tibet erhalten hat, bestätigen dies; die Begrenzung entspricht ganz der des gewöhnlichen basaltischen Augits (nur die Längsfläche b (010) fehlt) und das Achsenverhältnis ist nach den Winkelmessungen:

a : b : c = 1,100 : 1 : 0,601; β = 73° 09′.
(Augit vom Vesuv:
= 1,092 : 1 : 0,589; β = 74° 10′.)

Im Dünnschliff beobachtet man manchmal Zwillingslamellen nach der Querfläche (100), seltener nach der Basis (001).

Optische Eigenschaften. Das einzelne Korn beider Mineralien ist unter dem Mikroskop durchsichtig und meist farblos, oder auch zuweilen grün, beim Jadeit öfters prächtig smaragdgrün, und dann bei beiden stark dichroitisch. Die Doppelbrechung ist stark. Nephrit zeigt keinen Unterschied von Tremolit oder Strahlstein. Beim Jadeit ist die optische Achsenebene ∥ (010), eine Achse tritt fast senkrecht auf der Querfläche (100) aus, die Mittellinie macht im stumpfen Winkel β 33° 34′ mit der c-Achse (im Na-Licht); auf beiden Prismenflächen wurde die ganz gleiche Auslöschungsschiefe von 32° 16′ beobachtet. Geneigte Dispersion, $\rho < v$, schwach. 2V = 71° 56′. β = 1,654 (im Na-Licht).

Spezifisches Gewicht. Bei Nephrit nahe = 3,0, meist zwischen 2,95 und 3,0. Bei Jadeit im Mittel = 3,32, für Chl. bis auf 3,404 steigend. Manche Jadeite ergeben infolge fremder Einschlüsse erheblich kleinere Zahlen, bis unter 3,0.

Härte. Sie ist beim Nephrit etwas geringer als beim Jadeit, der den Nephrit stets ritzt. Für Nephrit ist H = 6 ziemlich genau, für Jadeit = 6½, etwas unter Quarz. Nur durch Verwitterung angegriffene Stücke geben geringere Werte.

Schmelzbarkeit und Zersetzbarkeit. Nephrit schmilzt v. d. L. schwer. Jadeit schmilzt schon in der Kerzenflamme und färbt dabei diese lebhaft gelb. Die blasige Schmelze wird von HCl leicht zersetzt. Frischer Jadeit wird darin so wenig angegriffen wie Nephrit.

4. **Aggregate.** Nephrit sowohl wie Jadeit kommen in der Natur nur in Form dichter, vielfach mehr oder weniger ausgesprochener schiefriger Aggregate vor.

Der Bruch dieser Aggregate ist flachmuschlig, rauh und ausgezeichnet splitterig. Der Glanz frischer Bruchflächen ist schwach, glasig, häufig etwas wachsartig. Polierte Flächen von Jadeit sind ebenfalls glasglänzend, von Nephrit deutlich fettig. Wenn die Fasern (siehe Struktur) auf größere Erstreckung parallel sind, ist der Glanz mehr oder weniger seidenartig; manchmal entsteht dann auf rundlichen Flächen ein wogender Lichtschein (Nephrit-Katzenauge). Die Durchscheinenheit ist verschieden stark; vollkommene Durchsichtigkeit findet man nie, höchstens eine Annäherung ähnlich wie beim Chalcedon. Die Farbe ist sehr wechselnd und vielfach nicht gleich über die ganze Oberfläche; Adern, Flecken, Wolken usw. sind häufig. Vollkommenes Weiß ist bei Jadeit und Nephrit sehr selten, häufiger Weiß mit einem Stich ins Rötliche, Blaue, Grüne, Graue. Ein mattgrauer Nephrit mit einem Stich ins Grünliche und Bläuliche ist molkenfarbig genannt worden. Braun und gelb kommt bei Nephrit zuweilen vor. Die Hauptfarbe ist bei beiden grün, in verschiedenen hellen bis ganz dunkeln Nuancen, lauch-, gras-, ölgrün usw. bis ins schwarz beim Chl. Ausgezeichnet ist eine prächtig smaragdgrüne Farbe in größeren oder kleineren Flecken im weißen Jadeit, die mit fast völliger Durchsichtigkeit verbunden zu sein pflegt. Sie kommt von einem kleinen Chromgehalt, während die übrigen grünen Nuancen auf Eisen zurückzuführen sind. Durch äußere Einflüsse kann sich die Farbe und das ganze Aussehen ändern. So imprägnierten sich Stücke von Jadeit, die im Laterit liegen, mit einem schön braunroten Pigment. Aehnliches kann zuweilen künstlich nachgeahmt werden.

Von besonderem Interesse ist die Struktur, die aber nur unter dem Mikroskop deutlich hervortritt. Nephrit ist ausgezeichnet faserig, die Fasern sind meist sehr fein und nur einzelne größere Tremolitprismen dazwischen. Die Fasern liegen kreuz und quer gegeneinander und sind ineinandergewebt, wie die Fasern im Filz, oder sie gehen auch

Digitized by Google

auf größere Strecken parallel, oder sie bilden Sphärolithe oder Bündel oder Flecken von verschiedener Form. Sie sind geradegestreckt oder gekrümmt oder auch gedreht und öfters so fein, daß sie einzeln nicht mehr recht unterschieden werden können (flaumiger Nephrit). Eigentümlich ist die „wellige“ Struktur, bei der die meist sehr feinen Fasern mehrfach hintereinander zierlich geknickt und hin- und hergebogen sind, sowie die sogenannte „Großkornstruktur“, bei der die Masse aus einzelnen in sich faserig gebauten größeren Körnern besteht, die auch öfters nur einzeln im Nephrit anderer Art liegen. Diese Strukturformen können über größere Flächen gleich bleiben oder in einem Stück, ja in einem Dünnschliff vielfach und rasch miteinander abwechseln. Unter dem Mikroskop erkennt man auch mehrfach fremde Einschlüsse, von denen besonders Chlorit wichtig ist, daneben Granat, Diallag, Diopsid und Jadeit, Kiese, Magnetit etc. Manche von diesen sind zur Bestimmung des Fundorts wichtig. Quarz und Feldspat fehlen stets.

Der Jadeit ist mehr körnig; die Körner sind teils mehr prismatisch, teils mehr isometrisch begrenzt, die Prismen manchmal bis 3 mm lang, so daß man bei manchem Jadeit die Individuen schon mit der Lupe erkennen kann. Die Stücke haben dann ein marmorartiges Aussehen. Unter dem Mikroskop sind die einzelnen Körner an den Rändern ineinander verzahnt. Sie sind häufig ganz unregelmäßig, häufig aber auch seitlich, nie aber an den Enden regelmäßig begrenzt. Sehr gewöhnlich ist eine Krümmung, sowie eine Auffaserung an den Enden, ferner undulöse Auslöschung und die schon erwähnte Zwillingslamellierung, kurz man hat eine ausgezeichnete Kataklasstruktur durch Einwirkung des Gebirgsdrucks vor sich. Die darauf beruhende Zerfaserung hat zuweilen fast die ganze Masse ergriffen, die ganz ein Aggregat filzartig wie beim Nephrit durcheinander gewebter mehr oder weniger feiner Fasern bildet, in dem nur noch einzelne erhalten gebliebene Körner wie in einer Grundmasse eingesprengt liegen. Nicht selten zeigen die Fasern gar nicht mehr die Eigenschaften des Pyroxens, sondern die des Amphibols, es hat eine Uralitisierung stattgefunden. Die Strukturformen können so im einzelnen recht mannichfaltig sein, am häufigsten ist ein ziemlich gleichartig feinkörniger Bau. Auch hier sind fremde Beimengungen oft recht reichlich vorhanden. Feldspat, und zwar Orthoklas und Plagioklas (Albit) sind häufig, in ihm liegen die Jadeitindividuen, die dann ringsum regelmäßig begrenzt sind, was sonst nicht der Fall ist, begleitet auch von Glaukophan usw. Ferner ist zu nennen Analcim, Nephelin, Epidot, Zoisit, Chromeisenstein und andere. Quarz fehlt auch hier stets.

Die Folge des verworren faserigen Baues ist trotz der den Quarz nicht erreichenden Härte eine enorme Zähigkeit und Festigkeit und eine Elastizität, die, bei Nephrit noch mehr als beim Jadeit die aller anderen Substanzen, besonders aller anderen Gesteine, z. T. erheblich übertrifft. Nach den umfangreichen Untersuchungen von Ira Harvey Woolson (bei H. R. Bishop) ist der zum Zerbrechen nötige Druck auf Würfel von 1 Kubikzoll Seite bei:

Nephrit	44 577—95 000	Pfund;
Jadeit	41 000—84 317	„
(Granit	15 000—35 000	„
Stahl	60 000—80 000	„).

Die großen Differenzen bei N. oder J. beruhen auf präexistierenden Sprüngen und Anwesenheit von Zersetzungsprodukten.

Die Elastizitätskoeffizienten (bezogen auf Pfund und Quadratzoll) nehmen mit steigendem Druck stark zu, bis sie ziemlich konstant werden. Für hohen Druck betragen sie bei

Nephrit	24—30 000 000;
Jadeit	30—47 000 000;
(Granit	2— 9 000 000;
Stahl	28—30 000 000).

5. Vorkommen und Entstehung. Bezüglich des Vorkommens handelt es sich zunächst nur um das Rohmaterial. Nephrit enthält nicht selten etwas Diopsid oder auch Jadeit. Es ist daher wohl anzunehmen, daß er in diesen Fällen durch Umwandlung (Uralitisierung) aus diesen Mineralien entstanden ist. In anderen Fällen ist es wohl eine ursprüngliche Bildung (primärer Nephrit im Gegensatz zum sekundären). Wir beginnen mit dem Jadeit.

Jadeit von großer Reinheit findet sich anstehend in der Nähe von Tammaw in Oberbirma in einem mächtigen Lager unter Serpentin Er wird für ein Eruptivgestein gehalten, ist aber wahrscheinlich wie der Serpentin ein Glied einer Reihe kristalliner Schiefer, und zwar ein Jadeit-Feldspat-Glaukophangestein mit lokal gänzlich überwiegendem Jadeit, der alles andere verdrängt. Er wird hier in einem Steinbruch gewonnen, ebenso auch als Geschiebe im Urufluß und in einem Konglomerat bei Hweka und bei Mamon, und in Menge hauptsächlich nach China ausgeführt. Besonders geschätzt sind die erwähnten smaragdgrünen Stellen in der sonst weißen marmorartigen Masse. Bhamo, Talifu usw. sind nur Stapelplätze für diesen Export, keine Fundorte. Nicht näher bekannt ist das Vorkommen in Tibet, das zwar manche Aehnlichkeit mit dem birmanischen, aber auch manche Unterschiede zeigt, z. B. aderartige Verwachsung mit Nephelin. Auch

Digitized by Google

hier handelt es sich aber wohl um eine Einlagerung in kristallinen Schiefer, da manche Stücke mit Chloritschiefer verwachsen sind. Einem entsprechenden Vorkommen begegnen wir in Ostturkestan, wo Jadeit in geringer Menge den Nephrit begleitet (siehe unten). Neuerer Zeit hat man unreinen J., z. T. Chloromelanit, auch in den piemontesischen Alpen als Geschiebe und anstehend nachgewiesen und ebenso in einzelnen Geröllen in den Glazialablagerungen um die Pfahlbauten führenden Schweizer Seen (Neuenburger See). Auch hier stammt er wohl aus den kristallinischen Schiefern und manche Stücke geben ganz das mikroskopische Bild eines granatarmen Eklogits, wohin der Jadeit dann zu rechnen wäre. Chemisch schließt sich der Jadeit zu einem gewissen Grade an die Gruppe der Eläolithsyenite an, aber allerdings mit erheblich geringerem Kaligehalt. Nichts Genaueres weiß man über Vorkommen des Jadeits (oder Chl.) in Neu-Guinea.

Nephrit ist anstehend längst bekannt, eingelagert im Gneis (oder Granulit?) in Khotan in Ostturkestan, wo früher am Nord- und Südabhang des Kwenlun, bei Gulbaschen usw. Steinbrüche darauf betrieben wurden. Der Nephrit bildet hier als dichter Tremolit- oder Strahlsteinschiefer, stellenweise mit etwas Jadeit 20 bis 40 m mächtige Lager in jenen Gesteinen, von denen aus er auch, namentlich in die nach Norden fließenden Gewässer gelangte. Auch westlich davon, im Pamirgebiet, ist er in ähnlicher Weise bekannt, und weiter östlich, in der chinesischen Provinz Kansu, wird er heute noch an zahlreichen Stellen gewonnen und verarbeitet. Aus diesen genannten Gegenden stammt der in der chinesischen Industrie verwendete Nephrit. Große Mengen Nephrit fanden sich schon früher als z. T. recht große, bis 1000 Pfund schwere Geschiebe in einigen Flüssen in der Umgegend des Westendes des Baikalsees; neuerer Zeit hat man ihn anstehend in deren Ursprungsgebiet, dem Sajangebirge, ebenfalls in kristallinen Schiefern eingelagert nachgewiesen. Die Tartaren jener Gegenden sollen den Stein Cascholong nennen. In Amerika kennt man Nephrit anstehend in Alaska (Jade Mountain) und, roh und verarbeitet, in Britisch-Columbia, sowie in Südamerika (Brasilien usw.), wo er früher als Amazonenstein bezeichnet worden sein soll.

Der berühmte Nephrit von Neuseeland findet sich nur an einzelnen Stellen der Westseite der Südinsel als Gerölle in verschiedenen Flüssen, sowie anstehend im Serpentin (Punamu der Maori). Auch in Neukaledonien soll Nephrit anstehend vorkommen.

In Europa kannte man schon lange einzelne Geschiebe im norddeutschen Flachland, z. B. von Schwemsal bei Düben, die wohl als Erratica aus Skandinavien stammen. Später hat man ihn anstehend in Schlesien entdeckt und zwar, eingelagert zwischen Serpentin und Granulit in teilweise größeren Massen (Block von 2140 Kilo in der Sammlung von Bishop) und in kleineren Knollen im Serpentin, bei Jordansmühl, sowie in geringer Menge im Serpentin von Reichenstein. Einzelne Geschiebe begleiten die Nephritbeile etc. in den Pfahlbauten der Schweizer Seen und finden sich zahlreich im Schotter der Mur und spärlich der Sann in Steiermark. Ueberall ist anzunehmen, daß deren Ursprung ebenso in den benachbarten Teilen der Alpen zu suchen ist, wie das der Jadeit-Geschiebe der piemontesischen Alpen in jener Gegend. Von größter Bedeutung wurde aber die Entdeckung von anstehendem Nephrit im südlichen Ligurien in der Gegend von Sestri Levante und Spezia, wo er nach den Schilderungen von Kalkowsky, zusammen mit einem Diopsidgestein (Carcaro), in Dislokationszonen an den Serpentin, der mit Gabbro in Verbindung steht, geknüpft und durch dynamometamorphe Prozesse aus Serpentin entstanden ist. Nach G. Steinmann ist aber der Nephrit dort ein ophiolithisches Ganggestein im Serpentin, ursprünglich wahrscheinlich Websterit oder Diopsidfels, aus dem sich später Nephrit bildete und zwar infolge des mächtigen Drucks, den das umgebende, sich in Serpentin umwandelnde Olivingestein auf diese Gänge ausübte (Oedem- oder Schwellungsmetamorphose). Ueberhaupt hat Nephrit wohl überall starken Gebirgsdruck auszuhalten gehabt und ist hierauf die feinfaserige Beschaffenheit und die verworren-filzige Struktur zurückzuführen. Ganz ähnlich wäre das Vorkommen und die Entstehung des Nephrits von Harzburg, sowie an einzelnen Stellen der Alpen (Graubünden) und des Frankenwaldes (bei Schwarzenbach a. Saale), wo der Nephrit nach den den ligurischen ähnlichen geologischen Verhältnissen gesucht und auch tatsächlich gefunden worden ist. Nach Kalkowsky soll auch das oben erwähnte Vorkommen des Nephrits in Ostturkestan ganz mit dem in Ligurien übereinstimmen und damit auch die Entstehung des Nephrits in beiden Gegenden.

6. Verwendung. Nephritfrage. N. u. J. sind seit den frühesten Zeiten, von denen uns keine Ueberlieferung berichtet, zu Beilen, Messern, Meißeln und anderen Geräten, Amuletten, Idolen usw. verarbeitet worden und werden dies z. T. noch jetzt, besonders in den oben genannten Gegenden, wo das Rohmaterial vorkommt. Am umfangreichsten geschieht es seit Jahrhunderten in China, wo N. (aus Zentralasien) u. J. (aus Birma) zusammen unter dem Namen „Yü“ zu den kostbarsten Kunstwerken, Gefäßen aller Art,

Digitized by Google

Schmucksachen besonders Daumenringen usw. verarbeitet werden. Aehnlich geschah dies auch in Indien und im ganzen Orient auch in anderen Gegenden, in Neuseeland zu Keulen (Meres) und Idolen (Tikkis), auf anderen Südseeinseln, in Sibirien, in Amerika vom Norden durch Mexiko (hier Jadeit, der früher Calchihuitl genannt worden sein soll) und Mittelamerika bis Brasilien, findet man N. u. J. in der verschiedensten Form verarbeitet, teils in alten Gräbern und im Boden, teils noch jetzt im Gebrauch der dortigen Völkerschaften. Die Verwendung dieses Materials beruhte z. T. auf der Festigkeit zu Beilen usw. (Beilstein), z. T. auf dem hübschen Aussehen zum Schmuck. In Europa findet man Tausende von Nephritgegenständen, weit weniger von Jadeit, in den Pfahlbauten des Bodensees und der Seen in der Schweiz und im bayrischen Alpengebiet. Außerhalb dieser Gegend überwiegen Beile und Meißel aus Jadeit, so in Frankreich (besonders in der Bretagne) und im westlichen Deutschland, in Italien außer Kalabrien und Sizilien, wo Nephrit vorherrscht. Da hier früher fast gar kein Rohmaterial bekannt war, so wurde erst von Damour (1865), dann namentlich durch H. Fischer (1875) die Ansicht vertreten, alle diese europäischen Artefakte aus N. u. J., oder wenigstens die Rohmaterialien dazu, seien durch prähistorische Völkerzüge und Handelsverbindungen aus Zentralasien und Neuseeland und aus Birma zu uns gebracht worden. Dem gegenüber hat aber bald darauf F. Berwerth (1879) und mit besonderer Energie A. B. Meyer (1883) auf die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme hingewiesen. Es wurde die Vermutung aufgestellt, daß sich auch in Europa noch Rohmaterial finden werde, was ja bald darauf tatsächlich geschah. Ferner wurde nachgewiesen, daß die prähistorisch verarbeiteten Stücke vielfach eine lokal beschränkte mikroskopische Beschaffenheit haben und daß sie z. T. mit dem einheimischen Rohmaterial, nicht aber mit jenem fremden darin übereinstimmen. Aehnliche Beobachtungen wurden auch andernorts gemacht, wo zwar Artefakte aus N. u. J. vorkommen, wie in Amerika, aber wenigstens früher kein Rohmaterial bekannt war. So ist diese früher viel erörterte „Nephrit- und Jadeitfrage" heute gänzlich zu ungunsten von Damour und H. Fischer und im Sinne von Berwerth und A. B. Meyer entschieden.

Es soll übrigens nicht unerwähnt bleiben, daß auch in den europäischen Schleifereien, in Idar usw. N. u. J. aus Neuseeland, Sibirien, Birma usw. in ziemlichem Umfang zu allerlei kleineren Gebrauchsgegenständen verarbeitet wird und daß beide in ihren schönen Abarten auch zu Schmucksachen in steigendem Maße Verwendung finden.

Literatur. **Heber R. Bishop**, *Investigations and studies in jade, 2 Bde., 1906.* — **H. Fischer**, *Nephrit und Jadeit, 2. Aufl., 1880.* — **A. B. Meyer**, *Die Nephritfrage kein ethnologisches Problem, 1883.* — **E. Kalkowsky**, *Geologie des Nephrits im südlichen Ligurien. (Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 1906).* — **G. Steinmann**, *Die Entstehung des Nephrits in Ligurien und die Schwellungsmetamorphose. Sitzungsber. Niederrhein. Natur- und Heilk. 1908.* — **J. Uhlig**, *Nephrit aus dem Harz. (N. Jahrb. f. Min. 1910, II, S. 80).* — **P. A. Welter**, *Ein Beitrag zur Geologie des Nephrits in den Alpen und im Frankenwald. Ebenda 1911, II, S. 86.* — **F. Noetling**, *Ueber das Vorkommen von Jadeit in Oberbirma. Ebenda 1896, I, S. 1.* — **Max Bauer**, *Der Jadeit und die anderen Gesteine der Jadeitlagerstätte von Tammaw in Oberbirma. Ebenda S. 18.* — **A. W. G. Bleeck**, *Die Jadeitlagerstätten in Upper Burma. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1907.* — **F. Berwerth**, *Die Nephrit-Jadeitfrage. Mitteilungen anthrop. Ges. Wien* **20**, *1890. Ueber Nephrit u. Jadeit. Min. u. petr. Mitteilungen* **24**, *1905.* — **A. Arzruni**, *Neue Beobachtungen an Nephrit u. Jadeit. Zeitschr. f. Ethnologie 1883.*

Max Bauer.

Neptunismus.

Darunter versteht man die hauptsächlich von G. A. Werner vertretene Auffassung von dem Fehlen des Vulkanismus in den älteren geologischen Epochen und die Entstehung aller älteren Gesteine unter Mitwirkung des Wassers. Gegensatz: Plutonismus (vgl. den Artikel G. A. Werner).

Nervensystem.

Einleitung. 1. Die Elemente des Nervensystems: a) Neuronen. b) Neurofibrillen und ihre Entwickelung. c) Rolle der Neurofibrillen. d) Tigroid. e) Myelin. f) Schwannsche Scheide. g) Verknüpfung der Neuronen. h) Endnetze. i) Spezifität der Neuronen. 2. Die verschiedenen Formen des Nervensystems. a) Allgemeines: Diffuses und zentralisiertes Nervensystem. Herkunft vom Ektoderm. Neuroglia. b) Spezielle Beschreibung der hauptsächlichsten Formen des Nervensystems: Coelenteraten. Plattwürmer. Stachelhäuter. Mollusken. Ringelwürmer. Arthropoden. Manteltiere. Wirbeltiere: Rückenmark. Gehirn. Verlängertes Mark. Gehirnnerven. Cerebellum. Mittelhirn. Zwischenhirn. Vorderhirn. Größenverhältnisse des Zentralnervensystems. Hüllen des Zentralnervensystems. Sympathisches Nervensystem.

Digitized by Google

Einleitung. Das Nervensystem der Tiere dient zur Aufnahme von Reizen, die teils durch Zustandsänderungen im Tierkörper selbst, teils durch Veränderungen in der Außenwelt gesetzt werden. Es setzt diese Reize in Erregung um und bewirkt die Beantwortung dieser Reize durch Auslösung der Tätigkeit anderer Organe (Muskeln, elektrischer Organe, Drüsen, Leuchtorgane). So ermöglicht es das Zusammenwirken der Teile im Organismus und Reaktionen auf äußere Einflüsse. Dazu muß die Erregung innerhalb des Nervensystems fortgeleitet werden. Die Leitungswege, die durch die Verteilung der Elemente des Nervensystems gegeben sind, sind in den seltensten Fällen direkt, meist macht die Leitung mehr oder weniger große Umwege. Die geringere oder größere Kompliziertheit im Aufbau der Leitungswege ist insofern von Einfluß, als dabei geringere oder größere Umwandlungen mit der Erregung vor sich gehen, und als die Reizbeantwortung ihrer Stärke nach der Stärke des Reizes entspricht oder von ihr in verschiedenem Grade unabhängig ist.

Ein gesondertes Nervensystem gibt es natürlich nur bei vielzelligen Tieren. Bei den selbständig lebenden Einzelzellen, den Protozoen, ist die Reizbarkeit dem gesamten Protoplasma eigen; aber es kann auch hier durch Arbeitsteilung innerhalb der Zelle Reizaufnahme und Reizleitung an bestimmten Stellen des Zellkörpers lokalisiert sein (Tastkörperchen mancher Wimperinfusorien, „Augenfleck" oder „Stigma" vieler Geißeltierchen, „leitende" Fibrillen bei Stentor). Im Körper der vielzelligen Tiere dagegen ist die Reizbarkeit des Protoplasmas in den Elementen des Nervensystems zu besonders hoher Ausbildung gekommen, ohne dabei den übrigen Zellen vollkommen zu fehlen.

Die reizaufnehmenden Teile, die Sinnesorgane, finden eine besondere Betrachtung. Hier sollen nur die Teile des Nervensystems besprochen werden, welche die durch den Reiz hervorgerufene Erregung weiterleiten bis zur Stelle der Reizbeantwortung.

1. Die Elemente des Nervensystems.

1a) Neuronen. Das Nervensystem ist aus Zellen zusammengesetzt. Die Gestalt dieser Zellen entspricht ihrer Verrichtung, der Fortleitung von Erregungen: sie haben Fortsätze von verschiedener Länge in Ein- oder Mehrzahl und stehen durch deren Vermittelung miteinander in Beziehung. Die so gestalteten Nervenzellen sind mit besonderem Namen belegt; man nennt sie Neuronen oder Neuren (Singular Neurôn oder Neûron); ihr Zellkörper mit den kürzeren Fortsätzen entspricht dem, was man früher Ganglienzelle nannte, ihre längeren Fortsätze sind die Nervenfasern. Es gibt keine Nervenfasern, die nicht zu einem Neuron gehörten. Die Masse der Fortsätze kann bei einem Neuron die Masse des Zellkörpers oft um das Vielfache übertreffen; so läßt sich für eine große Spinalganglienzelle des Menschen berechnen, daß die von ihr ausgehende Nervenfaser bei Annahme einer Länge von 1m das 125fache Volumen des Zellkörpers hat.

Die Anordnung der Fortsätze am Zellkörper trägt wesentlich dazu bei, dem betreffenden Neuron sein typisches Aussehen zu geben. Man unterscheidet uni- (Fig. 2B), bi- und multipolare (Fig. 2A und 3) Ganglienzellen, je nachdem der Zellkörper des Neurons einen, zwei oder zahlreichere Fortsätze aufweist. Wenn zahlreichere Fortsätze vorhanden sind, zeichnet sich gewöhnlich einer unter ihnen vor den anderen durch sein Aussehen und seinen Verlauf aus; es ist der sogenannte Achsenfortsatz oder Axon (Achsenzylinder) (Fig. 2A, 1); er gleicht dem einen Fortsatz der unipolaren und den beiden Fortsätzen der bipolaren Neurone durch glatte Beschaffenheit, parallelfaserige Streifung, gleichbleibende Dicke (abgesehen von einer zuweilen vorhandenen seichten Einschnürung gleich nach seinem Ursprung) und Mangel einer eigentlichen Verästelung in der Nähe des Zellkörpers. Die Axone der Neuronen sind es, die im allgemeinen als Nervenfasern bezeichnet werden.

Die übrigen Fortsätze multipolarer Neuronen heißen Protoplasmafortsätze oder Dendriten. Von manchen Seiten ist zwischen beiderlei Fortsätzen ein grundsätzlicher Unterschied gemacht worden, derart, daß der Achsenfortsatz der Erregungsleitung diene, die Dendriten dagegen nur ernährende Funktion besitzen. Es ist aber jetzt überwiegende Wahrscheinlichkeit vorhanden für die Annahme, daß auch die Dendriten sich an der Nervenleitung beteiligen, wobei freilich nicht ausgeschlossen erscheint, daß die bedeutende Oberflächenentwickelung, die sie bewirken, für die Ernährung der Neurone förderlich ist. Der Unterschied zwischen Achsenfortsatz und Dendriten ist ja wahrscheinlich erst durch Arbeitsteilung entstanden; in dem Nervensystem der niedersten Metazoen, der Coelenteraten, sind multipolare Neurone vorhanden, bei denen alle Fortsätze gleichartig sind; erst mit dem Auftreten langer Leitungsbahnen kommt es zur Bildung von Axonen.

Ein Neuron entsteht durch Auswachsen einer embryonalen Zelle des äußeren Keimblattes, die als Neuroblast bezeichnet wird. Bei den Wirbeltieren, wo hierüber genaue Untersuchungen vorliegen, sind die Neuroblasten ursprünglich Epithelzellen. Sie nehmen birnförmige Gestalt an und bekommen zunächst e i n e n Fortsatz, der mit einem keulenartig verbreiterten, in einzelne

Digitized by Google

Zipfel ausgezogenen Ende, der sogenannten Wachstumskeule, weiterwächst (Fig. 1 A und B); die übrigen Fortsätze bei bi- und multipolaren Neuronen wachsen später aus.

Fig. 1. A Auswachsender Neuroblast mit Wachstumskeule, aus dem Rückenmark vom Hühnchen. B Unipolarer und C Bipolarer Neuroblast mit Neurofibrillengitter, vom dreitägigen Entenembryo. A nach R. y Cajal, B und C nach H. Held.

Durch direkte Beobachtung der weiterwachsenden Neuroblasten an der herausoperierten Ganglienleiste (s. u.) einer Kaulquappe konnte Harrison feststellen, daß sie unter amöboiden Bewegungen des keulenförmigen Endes wachsen. — Wie der Achsenfortsatz durch Auswachsen des Neuroblasten entsteht, so regeneriert er sich auch nach Durchschneidung durch Auswachsen: es tritt an dem mit dem Zellkörper zusammenhängenden Stumpf der Nervenfaser eine Wachstumskeule auf, ähnlich derjenigen des auswachsenden Neuroblasten, während der vom Zellkörper abgetrennte Teil der Nervenfaser zugrunde geht.

Vielfach ist die Frage erörtert worden, wie es zugeht, daß die derart auswachsenden Nervenfasern den Weg zu ihrem Endorgan richtig finden. Die Annahme, daß das Zentralorgan, von dem die Nervenfaser auswächst, durch Zellbrücken oder vorgebildete Protoplasmabahnen mit dem Endorgan (Muskel, Drüse) zusammenhänge und so der Nervenfaser ihr Weg schon vorgebildet sei, heißt nur die Schwierigkeit verschieben; denn entweder sind zahlreiche solche plasmatische Verbindungen vorhanden, dann muß wieder erklärt werden, weshalb die Nervenfaser diese und nicht eine andere wählt — oder es sind immer ganz bestimmte Zellen des Zentralorgans mit der zellulären Grundlage eines Endorgans verbunden; dann bietet die Erklärung solcher Verbindung wieder die gleichen Schwierigkeiten. Jedenfalls sind im embryonalen Körper die Entfernungen viel geringer, der Zeitpunkt des Auswachsens verschiedenartiger Neuroblasten kann verschieden sein, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß durch spezifische Stoffe, die von den Endorganen ausgehen, auf chemotaktischem Wege die Wachstumskeulen zu ihrem Ziele geleitet werden.

1b) Neurofibrillen und ihre Entwickelung. In den Zellkörpern und Fortsätzen der Neuronen finden sich in allgemeiner Verbreitung feine Fibrillen, die eine bestimmte Anordnung zeigen; sie werden als Neurofibrillen bezeichnet und sind für die Zellen des Nervensystems so charakteristisch wie die Muskelfibrillen für die Elemente der Muskulatur. In den Achsenfortsätzen finden wir eine einzige dicke oder zahlreiche parallel verlaufende dünne Neurofibrillen, in gedehnten Nervenfasern verlaufen sie gerade, in den mehr kontrahierten zeigen sie eine geschlängelte Bahn. In den Zellkörpern ist ihre Anordnung verschieden, je nach der besonderen Art des Neurons (Fig. 2). Sehr häufig bilden sie ein gitterartiges Netzwerk um den Kern, nicht selten zwei durch radiäre Fibrillen verbundene, ineinander geschachtelte Gitter (Fig. 2 B), von denen das innere den Kern umgibt, das äußere mehr in der Peripherie der Zelle liegt; oft sind die netzartigen Anordnungen viel weniger regelmäßig und zuweilen verlaufen die Fibrillen in einfacher gewundener Bahn durch die Zelle (Fig. 2 C). Auch in die Protoplasmafortsätze hinein erstrecken sich die Neurofibrillen. Ueber Einzelheiten im Bau der Neurofibrillengitter gehen die Ansichten der Forscher noch auseinander, vor allem darüber, ob die einzelnen Fibrillen durch ihre ganze Erstreckung selbständig sind und die Gitterbildung nur dadurch zustande kommt, daß die Fibrillen sich streckenweise aneinander legen und wieder voneinander trennen, oder ob wirkliche Spaltung und Verwachsung, also eine echte Anastomosenbildung zwischen den Fibrillen des Gitters besteht.

Die Neurofibrillen entwickeln sich nach Beobachtungen, die an Wirbeltieren gemacht wurden, schon sehr frühzeitig in den Neuroblasten. Schon im Birnstadium dieser Zellen entsteht an der Seite, wo der Fortsatz im Auswachsen begriffen ist, in der Nachbarschaft des Kernes ein ursprünglich kleines Fibrillennetz, das sich in den Fortsatz erstreckt und mit dessen Wachstum ebenfalls weiterwächst (Fig. 1 B); nach der anderen Seite zu wächst dieses Fibrillennetz um den Kern herum und sendet Fibrillen in die etwa entstehenden weiteren Fortsätze (Fig. 1 C). So bildet sich die gesamte Masse der Neuro-

fibrillen eines Neurons von diesem Neurofibrillenretikulum des Neuroblasten aus, indem es beim weiteren Wachstum sowohl zur Spaltung als auch zur sekundären Ver-

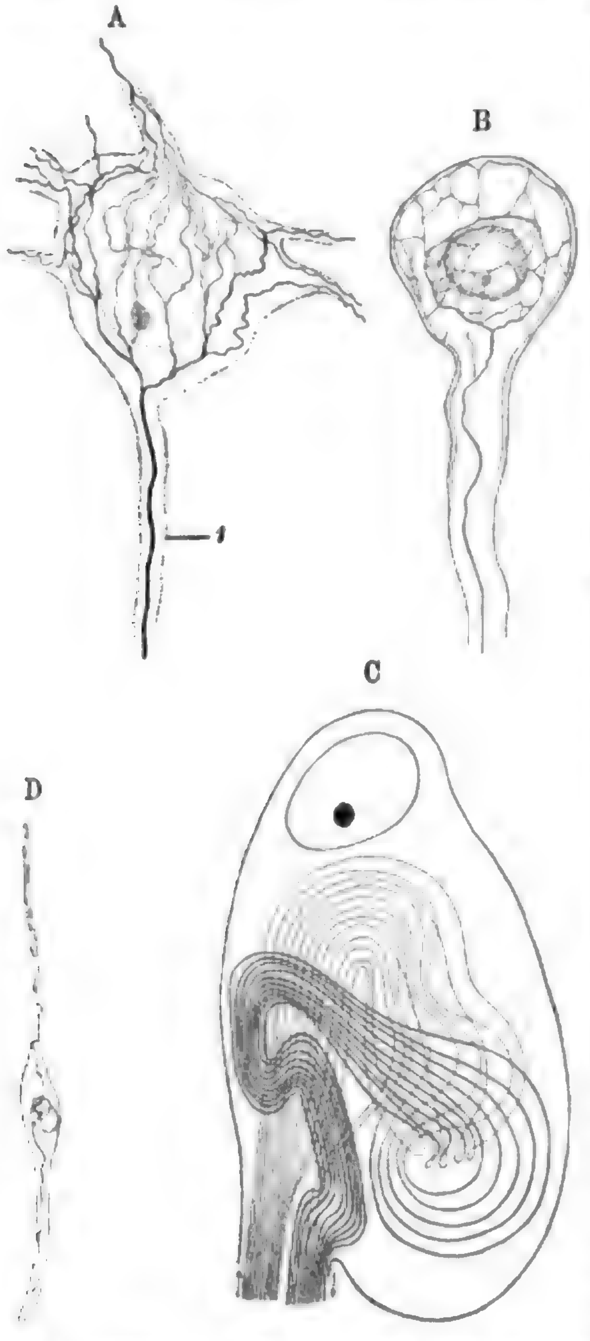


Fig. 2. Zellkörper von Neuronen mit Neurofibrillenverlauf. A, B und D vom Blutegel. Nach Apáthy, C Spinalganglienzelle vom Frosch. Schema. Nach M. Heidenhain.

schmelzung ursprünglich getrennter Fibrillen und Fibrillengitter kommt.

1c) Rolle der Neurofibrillen. Die so überaus große, ja man kann mit viel Wahrscheinlichkeit sagen allgemeine Verbreitung der Neurofibrillen in den Elementen des Nervensystems und ihre Entstehung gleich zu Beginn der Entwickelung der Neuroblasten drängt fast zu der Annahme, daß auch die für dieses Organsystem charakteristische Funktion an sie gebunden ist, daß sie das eigentlich Leitende sind. Dieser Annahme steht eine andere entgegen, die in dem Protoplasma, in welchem die Neurofibrillen in den Nervenfasern und den Zellkörpern eingebettet sind, dem Neuroplasma, die leitende Masse sieht. Jedenfalls muß die leitende Substanz durch die ganze Leitungsbahn, zunächst innerhalb eines Neurons, ohne Unterbrechung zusammenhängen. Dies scheint jedoch nur für die Neurofibrillen mit Sicherheit der Fall zu sein. Zunächst nämlich spricht ein Versuch dafür, daß in den markhaltigen Nervenfasern der Wirbeltiere an den sogenannten Schnürringen (s. u.) die Kontinuität des Neuroplasmas unterbrochen ist; drückt man nämlich auf eine solche Faser, wenn sie frisch herauspräpariert ist, an einer Stelle, so weicht das wasserreiche Neuroplasma unter Auftreibung der Faser aus, diese Auftreibung geht aber nicht über den Schnürring hinaus, sondern staut sich dort. Dann aber zeigt bei manchen Neuronen der Axon in der Nähe des Zellkörpers eine solche Verschmälerung, daß hier neben dem Neurofibrillenbündel kaum mehr Platz für das Neuroplasma zu sein scheint, mindestens aber dessen Masse beträchtlich vermindert ist. Es ist ja sicher anzunehmen, daß wie das Protoplasma überhaupt, so auch das Neuroplasma der Neuronen die Fähigkeit der Erregungsleitung besitzt. Wo aber die Fähigkeit der Leitung so gesteigert ist wie bei den Nervenfasern, derart, daß sie beim Menschen eine Geschwindigkeit von 120 m in der Sekunde erreicht, da sucht man wohl mit Recht nach einer besonderen Grundlage für diese Steigerung. Ja, es würde aus diesen Gesichtspunkten auch keinen Einwand gegen die leitende Funktion der Neurofibrillen bedeuten, wenn sie in den Neuronen von Coelenteraten (Hydra, Aktinien), wie es bisher den Anschein hat, fehlen würden; so gut es kontraktile Zellen ohne Muskelfibrillen gibt (Herz des Hühnchens in den ersten Bebrütungstagen, Wandzellen der Blutgefäße bei Aeolosoma), so gut könnten auch einem primitiven Neuron die Neurofibrillen fehlen, aber seine Leitungsfähigkeit würde unvollkommener sein. Wenn von mancher Seite angenommen ist, daß den Neurofibrillen lediglich eine Stützfunktion zukomme, so widerspricht dem ihre Massenhaftigkeit in manchen Zellen, ihre spezifische und auf statischer Grundlage nicht erklärbare Anordnung in den Zellkörpern (z. B. dichtes Gitter um den Zellkern Fig. 2 D, Spiralverlauf Fig. 2 C), ihr geschlängelter Verlauf in verkürzten Nervenfasern (hier sind sie also nicht für die Form der Faser maßgebend) und die Art ihrer Entstehung im Neuroblasten.

1d) Tigroid. In den Zellkörpern der Neurone, und bei den multipolaren Neuronen

Digitized by Google

auch in den Dendriten, kommt weit verbreitet bei Wirbeltieren und nicht selten bei Wirbellosen eine Substanz vor, welche große Aehnlichkeit mit dem Chromatin des Zellkerns zeigt, das Tigroid (die Nisslschen Schollen). Es färbt sich leicht mit gewissen Kernfarbstoffen und erweist sich chemisch wie das Chromatin als Nukleoproteid. Das Tigroid soll sich durch Auswanderung von Chromatin aus dem Zellkern des Neuroblasten bilden und tritt bei gewissen Zuständen der Zelle, wo es aufgebraucht war und neugebildet wird, zuerst in der Nachbarschaft des Kernes auf. Aus alledem darf man auf eine genetische Verwandtschaft des Tigroids mit dem Chromatin des Kernes schließen. Das Tigroid tritt im Protoplasma des Neurons in Gestalt von Schollen und Haufen von bald massiger, bald mehr langgestreckter Gestalt auf und da es sich zwischen den Fibrillen des Neurofibrillengitters anhäuft, gibt es oft ein annäherndes Negativbild der Neurofibrillenstruktur (Fig. 3). Im Axon fehlt das Tigroid stets, und auch dessen Ursprungsstelle vom Zellkörper ist in charakteristischer Weise tigroidfrei.

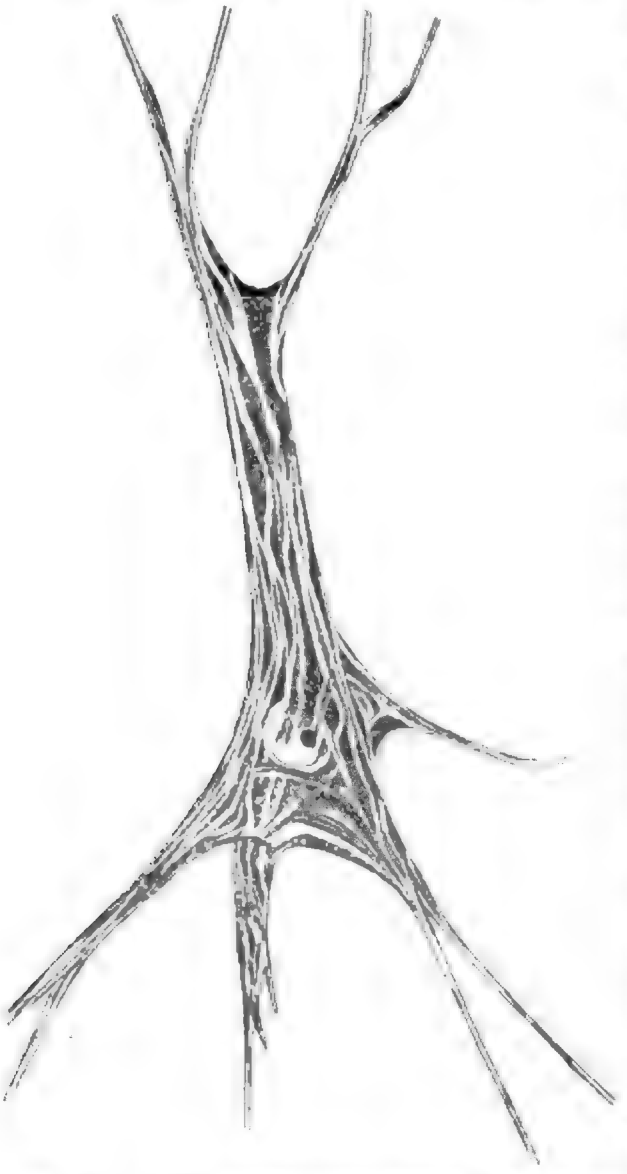


Fig. 3. Spinalganglienzelle eines Säugers mit Tigroid. Nach E. Sjövall.

Nicht alle Zellarten des Nervensystems sind gleich reichlich mit Tigroid versehen; vielmehr zeigt sich eine Korrelation zwischen der Menge des Tigroids und dem Plasmavolumen des Neurons: je länger der Achsenfortsatz der Zelle ist, um so reichlicher scheint das Tigroid zu sein. Es wird damit wahrscheinlich, daß wir in dem Tigroid eine Chromidialsubstanz sehen dürfen, wie sie auch in den Zellen anderer Gewebe und in freilebenden Zellen auftritt und den Kern in seiner Tätigkeit ergänzt. Dazu stimmt es, daß eine vermehrte Inanspruchnahme des Neurons sich durch Auflösung und Verbrauch der Tigroidmassen des Zellkörpers bemerklich macht; bei Hunden, die durch andauernde körperliche Anstrengung ermüdet sind, schwindet das Tigroid in den motorischen Zellen der ventralen Hörner des Rückenmarks, und das gleiche tritt ein, wenn durch Regeneration des Achsenfortsatzes nach Durchschneidung des Nerven der Stoffwechsel eines Neurons gesteigert wird.

1e) Myelin. Die Achsenfortsätze der Neuronen, die Nervenfasern, enthalten bei vielen Tieren einen besonderen fettartigen Stoff, das Myelin oder Nervenmark. Bei den Wirbeltieren, wo es genau untersucht ist, besteht das Myelin aus Fett, Lecithin und Protagon; seine Beschaffenheit ist aber nicht überall vollkommen gleich, und selbst innerhalb der Wirbeltierreihe kommen Abweichungen in seiner Zusammensetzung vor. In der Reihe der Wirbellosen ist Nervenmark nachgewiesen in den Nervenfasern mancher Ringelwürmer (Regenwurm, Capitelliden, Hermadion) und Krebse (Squilla, Palaemon), sowie bei einer Anzahl Mollusken (Phyllirhoe, Cardium, Venus). Es ist hier meist durch die ganze Dicke der Nervenfaser verbreitet, und zwar bei verschiedenen Arten in ungleicher Menge, so daß wahrscheinlich alle Uebergänge von geringen Spuren bis zu reichlicher Anhäufung von Mark vorhanden sind. In dieser primitiven Art der Anordnung findet sich das Nervenmark bei den Wirbeltieren in den Fasern des sympathischen Nervensystems und in dem Riechnerven. Dagegen bildet das Nervenmark bei den sogenannten riesigen Nervenfasern oder Neurochorden der Ringelwürmer eine mehr oder weniger dicke röhrenförmige Hülle um den Axon. Diese Art der Markanordnung ist bei den Wirbeltieren die Regel; die Nervenfasern haben im allgemeinen eine Markscheide, die außer Myelin noch einen besonderen Stoff, das Neurokeratin, in bestimmter Anordnung enthält. Nur bei Amphioxus und den Cyklostomen fehlt den Nervenfasern die Markscheide.

Digitized by Google

1f) Schwannsche Scheide. Die Fasern der peripheren Nerven besitzen bei den Wirbeltieren außer der Markscheide noch eine weitere Hülle, die man als Neurilemm oder Schwannsche Scheide bezeichnet. In den Fasern der weißen Substanz der Zentralorgane ist zwar die Markscheide vorhanden, die Schwannsche Scheide dagegen fehlt; andererseits haben die Nervenfasern der Cyklostomen eine Schwannsche Scheide, während ihnen die Markscheide fehlt. Die Schwannsche Scheide besteht aus hintereinander gelegenen röhrenförmigen Zellen, welche Schwannsche Zellen heißen. Dort wo zwei solcher Zellen aneinander grenzen, an den sogenannten Schnürringen, zeigt der Axon jedesmal eine Anschwellung; er ist dadurch geradezu in Segmente geteilt, die den Schwannschen Zellen entsprechen.

Die Schwannschen Zellen stammen nicht aus dem Bindegewebe, sondern wandern teils aus dem Medullarrohr aus, teils stammen sie aus den Spinalganglien, sind also ektodermaler Herkunft. An den ventralen Wurzeln der Rückenmarksnerven läßt sich bei Selachiern und Amphibien deutlich beobachten, daß der aus dem Rückenmark hervorwachsende Achsenfortsatz der Neuroblasten zunächst von den späteren Schwannschen Zellen frei ist. An den dorsalen Wurzeln dagegen ist schon vor dem Auswachsen der Axone eine Straße von ektodermalen Zellen angelegt, in welche die von den Neuroblasten des Spinalganglions ausgehenden Nervenfortsätze hineinwachsen, und ähnlich ist es bei den ventralen Wurzeln der höheren Wirbeltiere. Die Beobachtung solcher Bilder hat zu der irrigen Annahme geführt, daß die Nervenfasern nicht durch Auswachsen des Neuroblasten entstehen, sondern ein Produkt der Schwannschen Zellen seien und durch deren Verwachsung entstünden: das ist die sogenannte Zellkettenhypothese. Das müßte eine besondere Eigentümlichkeit der peripheren Nervenfasern der Wirbeltiere sein; denn die Nervenfasern in den Zentren ebenso wie die Nervenfasern der meisten wirbellosen Tiere (ausgenommen z. B. die Garneele Palaemon) besitzen keine Schwannschen Zellen und sind nicht segmentiert. Uebrigens erscheint die Zellkettenhypothese nicht nur durch genaue Beobachtung (Held), sondern auch durch ein interessantes Experiment endgültig widerlegt: Harrison entfernte durch einen Schnitt bei jungen Froschembryonen die Ganglienleiste am Medullarrohr, welche bei den Amphibien anfänglich allein die Scheidenzellen liefert; es wuchsen bei solchen Larven die ventralen Wurzeln des Rückenmarks weit aus, aber ihre Fasern blieben ohne Schwannsche Zellen.

Die Nervenfasern benachbarter Neuronen werden außerhalb des Zentralorgans bei höher stehenden Wirbellosen und bei Wirbeltieren durch bindegewebige Hüllen zu den Nerven vereinigt. Die einzelnen Nervenfaserbündel werden von konzentrischen Bindegewebslamellen, dem Perineurium umfaßt, von denen aus Scheidewände in das Innere des Bündels dringen. Mehrere Nervenbündel werden wieder durch das Epineurium, eine Hülle aus lockerem Bindegewebe mit elastischen Fasern, zum ganzen Nerven verbunden.

1g) Verknüpfung der Neurone. Nur überaus selten wird die Verbindung von der reizaufnehmenden Stelle, dem Sinnesorgan, zu der beantwortenden Stelle, dem Muskel, durch einen einzigen Neuron gebildet (Fühler der Weinbergschnecke nach Samassa, vielleicht auch hier und da bei Coelenteraten). Meist sind in der Leitungsbahn mehrere Neuronen hintereinander geschaltet. Die Frage, wie die Verknüpfung zwischen den Neuronen geschieht, gehört jetzt zu den strittigsten in der ganzen Lehre vom Nervensystem; selbst die Bahnbrecher, denen wir die großen Fortschritte auf diesem Gebiete in den letzten 25 Jahren verdanken, sind darüber entgegengesetzter Ansicht. Nach den einen (Golgi, Apáthy) gehen die Neurone ohne Unterbrechung ineinander über, stehen in kontinuierlichem Zusammenhang; die Fortleitung der Erregung von Neuron zu Neuron geschieht also durch Kontinuität. Nach den anderen (Retzius, S. Ramon y Cajal) ist jeder Neuron selbständig und tritt zu anderen Neuronen nur dadurch in Beziehung, daß sein Axon sich am Ende in ein Endbäumchen (Neurodendrium) auflöst, dessen Zweige sich mit denen des Endbäumchens eines anderen Neurons oder mit dessen Dendriten berühren oder den Zellkörper des Neurons eng umspinnen; die Erregungsleitung geschieht durch Kontakt. Die Kontakttheorie beruht hauptsächlich auf den Ergebnissen, die durch zwei überaus wichtige Färbungsmethoden erhalten werden, durch die Färbung des überlebenden Nervengewebes mit Methylenblau (Ehrlich) und durch die Chromsilberimprägnierung nach Golgi und Cajal; beide Färbungen sind elektiv, d. h. es färben sich nur einzelne Neurone aus der großen Menge, diese aber meist in ihrer ganzen Erstreckung. Selbst wenn mehrere in „Kontakt“ stehende Neurone gefärbt sind, ist es schwierig zu entscheiden, ob die feinsten Aestchen der Endbäumchen sich nur dicht aneinander legen oder ineinander übergehen; sehr erfahrene Beobachter versichern, nie einen zweifellosen Uebergang dieser Art gesehen zu haben. Dagegen lassen Neurofibrillenfärbungen mit verschiedenen Methoden erkennen, wie die Neurofibrillen aus einem Neuron in den anderen eindringen, sich mit dessen Neurofibrillen vereinigen

Digitized by Google

und so eine Kontinuität zwischen ihnen herstellen, und zwischen den Endbäumchen verschiedener Neuronen ist auf diese Weise in manchen Fällen ein zusammenhängendes Neurofibrillengitter dargestellt worden. Aber die Methoden der Neurofibrillenfärbung sind schwierig zu handhaben und launenhaft im Erfolg, und so ist es bisher noch nicht vielen Forschern möglich gewesen, durch überzeugende Präparate diesen Verhältnissen zu allgemeiner Anerkennung zu verhelfen. Jedenfalls ist es unbestreitbar, daß es ganz unzweideutige Fälle von Kontinuität zwischen Neuronen gibt; es sind solche, wo breite Protoplasmabrücken die Zellkörper miteinander verbinden. Im Nervensystem des Spulwurms (Ascaris) z. B. sind zahlreiche solche Verbindungen ganz sicher nachgewiesen; die drei Riesenfasern (Neurochorde) im Bauchmark des Regenwurms stehen jede mit mehreren Zellkörpern in kontinuierlichem Zusammenhang, und auch sonst kommen ähnliche Verbindungen hier und da vor (Fig. 4). Vor allem scheint die Kontinuität

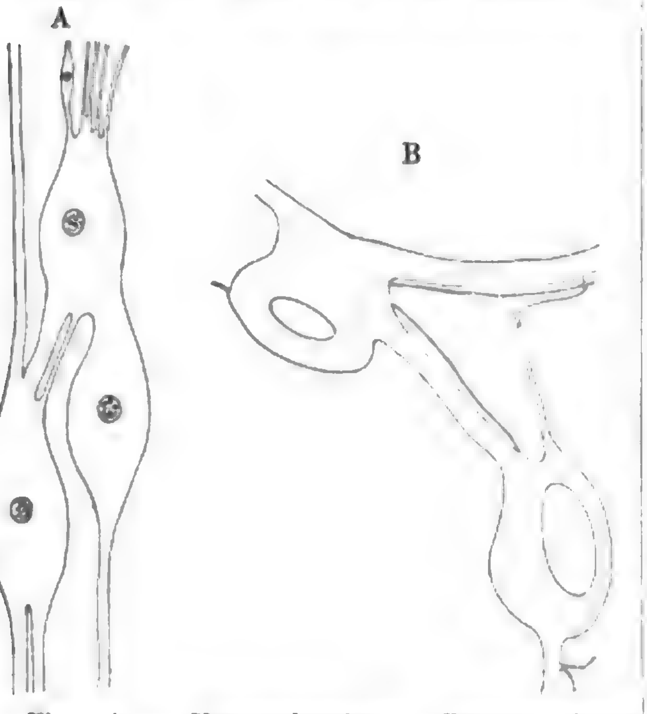


Fig. 4. Ununterbrochener Zusammenhang zwischen Neuronen. A aus dem ventralen Längsnerven des Spulwurmes, Ascaris, nach R. Goldschmidt, B aus der Mitteldarmwand des Rochenegels, Pontobdella. Nach Apáthy.

der Neurone sehr wahrscheinlich für die Nervennetze bei Coelenteraten, in der Schneckensohle, sowie am Darm und den Blutgefäßen bei Wirbeltieren. Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Verbindungen durch sekundäre Verschmelzung der Fortsätze ursprünglich getrennter Neuroblasten entstanden sind. Jedenfalls aber haben positive Befunde den entschiedenen Vorrang vor negativen: das Vorkommen von Kontinuität ist gesichert, während die Annahme von Verbindungen durch Kontakt immerhin hypothetisch bleibt. Es wäre möglich, daß beide Wege vorkommen; doch muß es weiteren Untersuchungen überlassen bleiben, ob die vielen Fälle, in denen bisher eine Kontinuität nicht nachweisbar war, nur auf Unvollkommenheiten der Methoden beruhen, wie die Anhänger der Kontinuitätstheorie behaupten. Jedenfalls mehren sich in neuerer Zeit die Angaben über Befunde neurofibrillärer Kontinuität, und zwar sind Verbindungsweisen von überraschender Mannigfaltigkeit aufgedeckt worden. Mit aprioristischen Gründen ist hier kein Fortschritt und keine Einigung zu erzielen; die Theorien werden sich nach den Tatsachen richten müssen.

1h) Endnetze. Die peripheren Endigungen der Nervenfasern, sowohl die reizaufnehmenden an den Sinnesorganen wie die effektorischen an den Vollzugsorganen haben vielfach die Form von Endnetzen, teils geschlossenen (Fig.. 5 A), teils lockeren Endnetzen, die an Endbäumchen angeschlos-

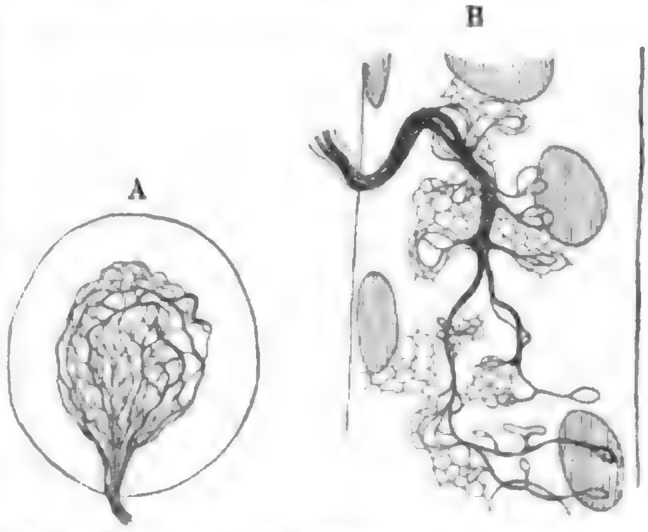


Fig. 5. Endgitter von Neuronen. A Tastscheibe aus dem Grandryschen Sinneskörperchen eines Vogels, nach Dogiel, B Motorische Endplatte aus der Fledermauszunge. Nach Boeke.

sen sind (Fig. 5 B); sie entstehen wahrscheinlich durch Entbündelung und sekundäre Verbündelung der Neurofibrillen. Die motorischen Endigungen an den Muskeln durchbohren dabei die Hülle der Muskelfasern, das Sarkolemm und treten also mit der Muskelsubstanz in unmittelbare Berührung.

1i) Spezifität der Neurone. Die einzelnen Neurone sind durch die Gestalt ihres Zellkörpers, durch die Zahl, Anordnungsweise, Verästelungsweise und Länge ihrer Fortsätze, durch die Anordnung der Neurofibrillen in ihnen und durch die Menge des Tigroids in mannigfaltigster Weise unterschieden. Aber wie für manche ihrer Eigentümlichkeiten, z. B. für die Länge der Achsen-

Digitized by Google

fortsätze oder die Menge des Tigroids, ein Zusammenhang mit ihrer besonderen Verrichtung offenbar ist, so scheinen auch ganz im allgemeinen ihre anatomischen Verschiedenheiten ein Ausdruck ihrer verschiedenen Funktion zu sein, d. h. die Neurone haben eine funktionelle Gestalt. So sind denn auch in bilateral-symmetrisch angeordneten Nervensystemen an paarig entsprechenden Stellen Zellen von gleicher Gestalt vorhanden; bei dem so einfachen Nervensystem des Spulwurms (Ascaris) läßt sich die Aehnlichkeit symmetrisch angeordneter Zellen, bei großen Verschiedenheiten zwischen den vorhandenen Ganglienzellen, bis ins einzelne verfolgen. Freilich sind wir noch überaus weit davon entfernt, die Bedeutung der Einzelgestalt für die jedesmalige Funktion zu erkennen; aber es wird kaum zu bezweifeln sein, daß z. B. der Anordnung der Neurofibrillen im Zellkörper oder der Verknüpfung der Neurone untereinander, ob durch zahlreiche neurofibrilläre Verbindungen oder durch eine breite Brücke, eine hohe funktionelle Bedeutung zukommt.

2. Die verschiedenen Formen des Nervensystems. **2a)** Allgemeines. Das Nervensystem tritt in zwei Hauptformen auf, zwischen denen sich allerhand Uebergänge finden, als diffuses und als zentralisiertes Nervensystem.

Diffuses und zentralisiertes Nervensystem. Beim diffusen Nervensystem sind die Neurone gleichmäßig über die Fläche verteilt, die mit Nerven versorgt ist. Es hat die Anordnung eines Nervennetzes; die Fortsätze der Neurone gehen in nahezu einer Ebene von den Zellkörpern ab und verbinden sich mit denen der Nachbarneurone, oder mit denen der Sinneszellen, oder sie treten an die Muskeln, um diese zu innervieren. Der Unterschied zwischen Dendriten und Axon ist bei den Fortsätzen dieser Neurone nicht vorhanden, sie sind alle gleichwertig. Lange Bahnen fehlen. Die Erregung breitet sich nach allen Richtungen aus, und da sie sich somit auf viele Bahnen verteilt, nimmt sie schnell an Stärke ab und breitet sich je nach ihrer Stärke in der Nachbarschaft der gereizten Stelle mehr oder weniger weit aus; die Reaktion tritt daher in der Umgebung der Reizstelle auf. Dieser ganzen Anlage entsprechend ist das Nervensystem natürlich nicht von den anderen Organsystemen abgeschlossen und bildet keine gesonderten Komplexe. Solche Nervennetze finden sich bei den Coelenteraten, mit allmählichen Uebergängen zu einer beginnenden Zentralisierung. Im übrigen kommen sie noch an bestimmten Stellen höher differenzierter Tiere vor, z. B. unter der Epidermis von Plathelminthen, auf der Sohlenmuskulatur mancher Nacktschnecken (Limax) und am Darm und den Gefäßen von Wirbeltieren.

Bei den zentralisierten Nervensystemen sind die Zellkörper zahlreicher Neurone auf einem engen Raum zusammengelagert, sie bilden einen Ganglienknoten oder ein Ganglion, und ihre Axone gehen von dort zu den Stellen, an welchen Reizaufnahme und Reizbeantwortung erfolgt; andererseits verlaufen die Achsenfortsätze der Neurone mit peripher gelagertem Zellkörper zu jenem Zentrum. Im Ganglion findet die Verknüpfung der Neurone untereinander statt; dabei sind im Innern der Ganglien die feinen Fasern, Endbäumchen, Dendriten zu einem dichten, schwer zu entwirrenden Durcheinander vereinigt, das als Punktsubstanz, graue Substanz, Nervenfilz (Neuropil) bezeichnet und von den Forschern, je nach ihrer Stellung zu der Frage der Neuronenverknüpfung, als Flecht- und Filzwerk oder als Netzwerk, Retikulum mit kontinuierlich ineinander übergehenden Neurofibrillen aufgefaßt wird. Die Verknüpfung der Neurone findet also hier auf beschränktem Gebiete statt, und die Verbindung mit den aufnehmenden und ausführenden Organen wird durch lange Bahnen hergestellt. Durch das nahe Zusammenliegen der Neurone, die enge Nachbarschaft ihrer zahlreichen Dendriten untereinander und mit den Auffaserungen von Endbäumchen wird die Mannigfaltigkeit der Verknüpfungen sehr vermehrt. Die Zentralisierung kann verschieden weit gehen; es können zahlreiche Zentren durch den ganzen Körper verteilt liegen und durch lange Bahnen miteinander verbunden sein, oder sie werden enger und enger zusammengelagert, bis sie zu einer einheitlichen Masse verbunden sind. Andererseits können die Zentren entweder alle einander koordiniert, gleichwertig sein und ihr Zusammenarbeiten einfach durch verbindende Nervenbahnen vermittelt werden, oder es ist ein übergeordnetes Zentrum vorhanden, das nicht direkt mit den reizaufnehmenden und reizbeantwortenden Stellen verbunden ist, sondern seine Erregungen aus niederen Zentren empfängt und seinerseits diese Zentren zu einheitlich sich ergänzender Tätigkeit anregt — ja es können mehrere Zentren verschiedener Ordnung in solcher Weise übereinandergeordnet sein. Damit steigert sich die Einheitlichkeit der Reaktionen und die Höhe der Leistung.

Mit der Zentralisierung schreitet die Sonderung des Nervensystems von den benachbarten Körpergeweben fort: es bildet mehr und mehr ein abgeschlossenes, örtlich wohl umschriebenes Organsystem. Zugleich entsteht dadurch erst der Gegensatz von zentralem und peripherem Nervensystem, der uns von den Wirbeltieren her

Digitized by Google

so geläufig ist, der sich aber auch erst allmählich schärfer herausgebildet hat, je mehr untergeordnete, ursprünglich verstreute Zentren sich örtlich vereinigen und physiologisch einem beherrschenden Zentrum unterordnen. Das periphere Nervensystem besteht schließlich, abgesehen von den Sinnesorganen, nur noch aus Nervenfasern, die entweder dem Zentrum Erregungen zuführen: zentripetale oder sensorische Fasern, oder solche vom Zentrum zur Peripherie leiten: zentrifugale oder effektorische (motorische, sekretorische) Fasern. Anatomische Unterschiede zwischen den beiderlei Fasern kennt man nicht.

Herkunft vom Ektoderm. Der Mutterboden des Nervensystems ist das äußere Keimblatt; überall wo es möglich war, die Entwickelung des Nervensystems beim Embryo zu beobachten, ist es ektodermalen Ursprungs, und wo man die Zellkörper der Neurone dem mittleren oder inneren Keimblatt ein- und angelagert findet, sind sie vom Ektoderm hierhergewandert. Bei primitiveren Formen liegt auch das Nervensystem noch ganz oder teilweise im Körperepithel, so das diffuse Nervensystem der Coelenteraten und das zentralisierte Nervensystem mancher Stachelhäuter (Seesterne) und Ringelwürmer (Archianneliden; Sigalion, Sthenelais; Aeolosoma). In aufsteigender phylogenetischer Reihe wird das Nervensystem immer mehr von der Oberfläche in die Tiefe gelagert und damit, was bei seiner Wichtigkeit für den Ablauf der Lebensvorgänge wesentlich ist, vor Verletzungen bewahrt und zugleich direkten äußeren Reizungen entzogen. Diese Verlagerung geschieht auf verschiedenem Wege, teils durch Abspaltung, wie bei Ringelwürmern und Arthropoden, teils durch Einstülpung, wie es sich ontogenetisch bei den Wirbeltieren verfolgen läßt.

Neuroglia. Je mehr die zentralisierten Nervensysteme sich gegen die Umgebung scharf absondern, um so mehr bedürfen sie eines besonderen eigenen Stützgewebes, das ihre Gewebsmasse in sich festigt, zusammenhält und vor Zerrungen und Pressungen bewahrt. Es treten äußerlich bindegewebige Hüllen auf, und im Innern der Zentren entwickelt sich ein für das Nervensystem charakteristisches Stützgewebe, die Neuroglia. Ein solches Stützgewebe findet sich in der Reihe der Wirbellosen schon bei den Ringelwürmern und den Arthropoden, ferner bei den Mollusken und in hoher Ausbildung bei den Wirbeltieren. Die Neuroglia besteht bei Wirbellosen und Wirbeltieren in gleicher Weise aus eigenartigen Fasern, welche Abkömmlinge von Zellen sind und mit ihren Mutterzellen höchst wahrscheinlich in dauerndem Zusammenhang bleiben (Fig. 6). Die Gliazellen sind ektodermaler Herkunft. Wo das Nervensystem durch Umwandlung ganzer Epithelbezirke entsteht (manche Anneliden vgl. oben, Wirbeltiere), bewahrt ein Teil der Gliazellen den ursprünglichen Charakter als Epithelzellen und verläuft von der freien Oberfläche des Epithels bis zu dessen Basis: es sind die Ependymzellen. Andere Stützzellen emanzipieren sich von der epithelialen Anordnung und werden zu Gliazellen i. e. S., von mehr oder weniger sternförmiger Gestalt (Fig. 7). Die Neuroglia bildet ein starres Gerüstwerk, in das sich die nervösen Elemente einordnen. Außer dieser mechanischen Funktion kommt dem Gliagewebe bei den Wirbeltieren, wenigstens in embryonaler Zeit, auch eine chemische Funktion zu: es bildet den Uebertragungsapparat für die Grundbestandteile des Nervenmarkes, die es dem Blut entnimmt, zunächst speichert und dann an die Nervenfasern abgibt.

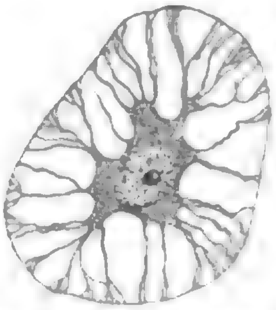


Fig. 6. Gliazelle aus der Bauchganglienkette eines Rollegels (Glossisiphonia). Nach E. Mencl.

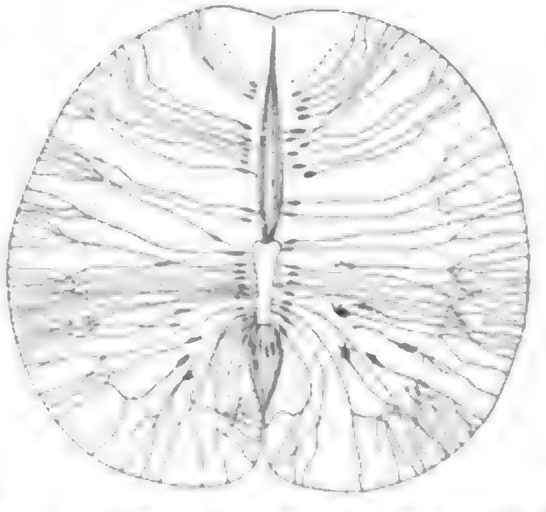


Fig. 7. Neurogliazellen im Querschnitt des Rückenmarks bei einem menschlichen Embryo von 3 cm Länge. Nach G. Retzius.

2b) Spezielle Beschreibung der hauptsächlichsten Formen des Nervensystems. Coelenteraten. Ein diffuses Nervensystem finden wir nur bei den Coelenteraten, und auch hier tritt es in der Hauptsache nur bei den festsitzenden Formen rein in die Erscheinung, z. B. bei Hydra oder bei den Aktinien. Bei Hydra (Fig. 8) breiten sich die Neurone, zu einem Netz verbunden zwischen den basalen Teilen der Epithelzellen liegend, von den Tentakelspitzen bis

zur Fußscheibe aus; um den Mund und an der Fußscheibe liegen sie dichter. Mit ihnen stehen Sinneszellen in Verbindung, und sie senden Fortsätze zu den Muskeln. Bei den Medusen,

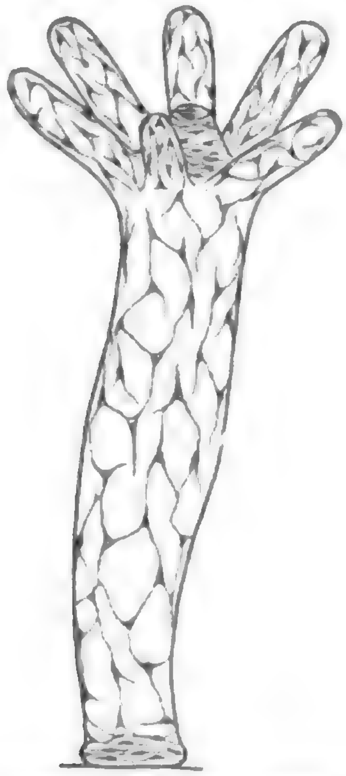


Fig. 8. Schema des Nervensystems beim Süßwasserpolypen Hydra.

bei denen an die Koordination der Bewegungen und somit an die Nervenleitung höhere Anforderungen gestellt werden, tritt neben dem Nervennetze schon eine gewisse Zentralisierung ein und lange Bahnen zur Verbindung der Zentren. Der doppelte Nervenring um den Schirmrand der Hydromedusen ist wohl als besonders dichter Teil des Nervennetzes mit sehr langgestreckten Maschen aufzufassen. Bei den Scyphomedusen aber finden sich schon regelrechte Anhäufungen von Nervenzellen in der Umgebung der acht randständigen Sinneskolben (Randkörper) an der Unterfläche des Schirmes, und diese sind durch arkadenförmig auf der Schirmunterseite verlaufende lange Bahnen von locker nebeneinander liegenden Nervenfasern verbunden. Aber überall bewahrt das ganze Nervensystem seine intraepitheliale Lage.

Die Plattwürmer haben ein zentralisiertes Nervensystem, dessen Hauptmasse in zwei seitlichen Längsstämmen angeordnet ist, die im Körperparenchym nahe der Bauchfläche liegen (Fig. 9). Die Längsstämme, am Vorderende des Körpers stärker angeschwollen und miteinander verbunden, sind im Innern von einer Nervenfilzmasse eingenommen, und die Zellkörper der Neurone sitzen dieser Masse in ihrer ganzen Längserstreckung außen auf; von der Umgebung heben sie sich nicht durch scharfe Grenzen ab; sie bilden einen Teil des Parenchyms. In bestimmten Abständen gehen verbindende Züge von Nervenfasern (Kommissuren) von einem Längsstamm zum anderen, und ebensolche gehen nach außen gegen den Rand des Körpers. Dies ist das einfachste Schema des Plattwürmer-Nervensystems, das bei manchen Formen weitere Komplikationen erfährt. Man könnte es seiner Anordnung nach als Leiternervensystem bezeichnen, wobei die beiden Längsstämme den Holmen, die Kommissuren den Sprossen der Leiter entsprechen würden. Zu diesem hier geschilderten Nervensystem scheint noch ein peripheres, unter dem Epithel gelegenes Nervennetz zu kommen.

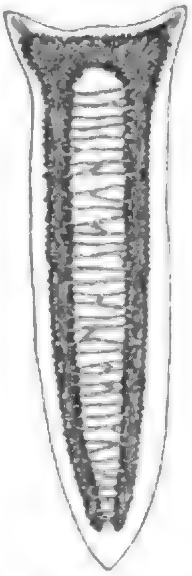


Fig. 9. Schema des zentralen Nervensystems bei einem Strudelwurm, Planaria.

Das Nervensystem der Stachelhäuter gleicht dem der Plattwürmer darin, daß bei seinen Ring- und Radiär-„Nerven", wie bei den Längsstämmen jener, die Zellkörper der Neurone über die ganze Ausdehnung verteilt und in keiner Weise zu kompakteren Ganglien zusammengefaßt sind. Im übrigen ist es interessant durch seine mangelhafte Zentralisation, wie ja auch in anderen Organsystemen der Stachelhäuter die Arbeitsteilung geradezu zu Zersplitterung führt. Es sind nämlich nebeneinander drei vollständig selbständige Nervensysteme vorhanden, die keine oder nur ganz geringfügige Verbindungen aufweisen: ein oberflächliches und ein tiefliegendes orales Nervensystem und ein apikales Nervensystem. Die beiden ersten verlaufen einander parallel, derart, daß jedes einen Ringnerven um den Schlund und meist 5 davon abgehende Radiärnerven hat; das dem aboralen Pol zu liegende apikale Nervensystem ist besonders stark bei den Haarsternen ausgebildet und hat dort in den Grundzügen wieder die gleiche Anordnung wie jene (Ring- und Radiärnerven). Primitiverweise liegt bei Seesternen und Haarsternen das oberflächliche orale Nervensystem noch intraepithelial.

Von dem Leiternervensystem der Plattwürmer leiten sich 2 stärker zentralisierte Nervensysteme ab: einerseits das der Mollusken, andererseits das der Ringelwürmer.

Digitized by Google

Unter den Mollusken erinnern die Chitoniden (Käferschnecken) im Bau ihres Nervensystems noch sehr an die Plattwürmer (Fig. 10A): es ist ein Leiternervensystem, über dessen Längsstämme die Zellkörper der Neurone gleichmäßig verstreut

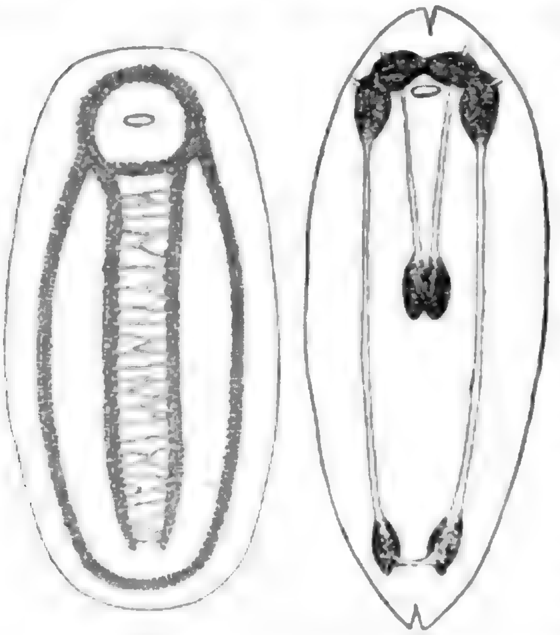


Fig. 10. Schema des zentralen Nervensystems A einer Käferschnecke (Chiton) und B einer Muschel (Nucula); in B folgen sich von vorn nach hinten die Cerebral-, Pleural-, Pedal- und Visceroparietalganglien.

sind; nur ist vorn um den Mund ein Schlundring vorhanden, der im übrigen seiner Zusammensetzung nach den Längsstämmen gleicht, und am Mantelrand verläuft ein besonderer Stamm, der Mantelnerv, der mit dem Schlundring verbunden ist. Indem sich bei den übrigen Mollusken an diesen Hauptstämmen die Zellkörper der Neurone auf bestimmte Punkte zusammenziehen, kommt es zur Bildung paarig angeordneter Ganglienknoten, wobei die Paarlinge untereinander und die Ganglien der gleichen Seite miteinander durch Nervenfaserbündel zusammenhängen, an denen die „Ganglienzellen" fehlen; die Querverbindungen werden Kommissuren, die Längsverbindungen Konnektive genannt. So kann man sich das Ganglionnervensystem der Schnecken, Muscheln (Fig. 10 B) und Tintenfische entstanden denken. Diese Hauptganglien sind die Cerebral-, Pedal-, Pleural-, Parietal- und Visceralganglien. Die Cerebralganglien liegen über dem Schlund und stehen mit dem Kopf, den Hauptsinnesorganen und der Buccalmasse durch Nerven in Verbindung; die Pedalganglien senden ihre Nerven zur Fußmuskulatur; in den Pleuralganglien sitzen die Zellkörper der Neurone des Mantels, vom Parietalganglion aus werden die Kiemen und ein Teil des Mantels innerviert und von den Visceralganglien gehen die Eingeweidenerven aus. Während bei den Muscheln die Ganglien vielfach noch getrennt bleiben, vereinigen sie sich bei den Schnecken mit Ausnahme der Visceralganglien zu einem Schlundring, dessen dorsale Masse mit der ventralen durch schlanke Konnektive verbunden ist; bei den Tintenfischen aber bilden alle zusammen eine kompakte Masse, die von dem engen Schlund durchbohrt wird und in der eine mehrfache Uebereinanderordnung der Einzelzentren experimentell nachgewiesen ist.

Durch andersartige Umordnungen wird aus dem Leiternervensystem der Plattwürmer das Nervensystem der Ringelwürmer. Auch hier sammeln sich die Zellkörper der Neuronen an den beiden Längsstämmen zu einzelnen Ganglienmassen; aber diese liegen in dem gegliederten Körper der Ringelwürmer segmental angeordnet. In jedem Segment finden wir ein Ganglienpaar, durch eine Kommissur verbunden und jedes Ganglion ist mit dem Ganglion der gleichen Seite im vorhergehenden und folgenden Segment ebenfalls durch ein Nervenbündel, ein Konnektiv vereinigt (Fig. 11). So entsteht die

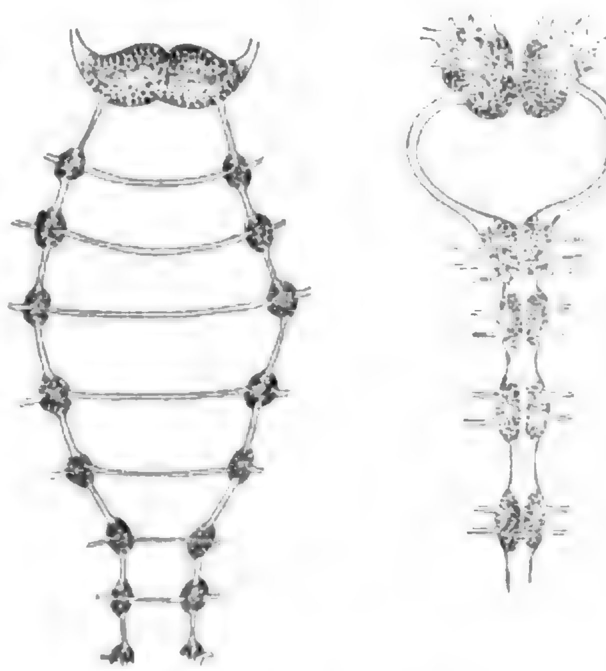


Fig. 11. Schlundring und vorderer Abschnitt der Bauchganglienkette von Ringelwürmern, A von Serpula, B von Eunice.

ventral vom Darm gelegene Bauchganglienkette, zu der am Vorderende das über dem Schlund gelegene Cerebralganglienpaar kommt; es ist mit dem vordersten Ganglienpaar der Kette durch die Schlundkonnektive vereinigt (Schlundring mit Ober- und Unterschlundganglion). Die Ganglien der Bauchganglienkette sind einander koordiniert, die

Digitized by Google

Cerebralganglien dagegen sind der Bauchganglienkette übergeordnet; Versuche zeigen, daß sie einen hemmenden und somit offenbar regulierenden Einfluß auf die Tätigkeit der Bauchganglien ausüben. In diesem Nervensystem haben sich also die Zellkörper der Neurone an den Knotenpunkten der Längsstämme und Kommissuren angesammelt; man kann dafür den Namen Strickleiternervensystem brauchen, der meist allgemein auch für das Nervensystem der Plattwürmer und Chitonen verwendet wird. Das Bild einer Strickleiter wird besonders deutlich, wenn die beiden Ganglien eines Paares weit auseinandergerückt sind, wie bei manchen sedentären Ringelwürmern (Fig. 11 A); meist aber liegen sie dicht beisammen, oft so dicht, daß man ihre Paarigkeit nur auf Schnitten erkennt.

Die Bauchganglienkette mit dem über dem Schlunde gelegenen Cerebralganglienpaare haben die Arthropoden von ihren ringelwurmartigen Vorfahren ererbt. Aber mit der Sonderung des Kopfes und der mächtigen Ausbildung der Sinnesorgane desselben (Antennen, Augen) gewann bei ihnen das Cerebralganglion eine größere Bedeutung

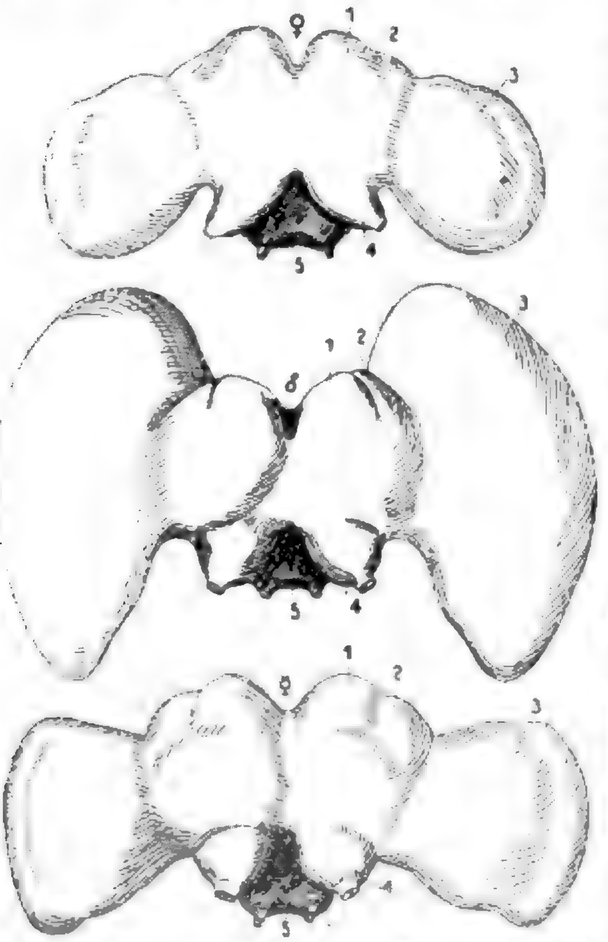


Fig. 12. Gehirnganglien vom Weibchen (Königin), Männchen (Drohne) und Arbeiterin der Honigbiene. 1 und 2 sog. äußere und innere Becher; 3 Ganglion opticum; 4 Antennenganglion mit Antennennerven; 5 Unterschlundganglion. Nach Jonescu.

und nahm sehr an Umfang zu, indem sich ihm zugleich die zu den Komplexaugen gehörenden Sehganglien (Ganglia optica) beiderseits anlegten. Die Entstehung komplizierter Instinkte, besonders bei den Insekten, geht ebenfalls mit dem Wachstum bestimmter Abschnitte des Cerebralganglions (Fig. 12, 1 und 2) Hand in Hand. Lehrreiche Beispiele dafür bieten die sozialen Insekten: bei den Ameisen hat die Arbeiterin als Trägerin der mannigfachsten Instinkte das größte Cerebralganglion, kleiner ist es bei dem Männchen, noch kleiner bei dem Weibchen Aehnlich ist es bei den Bienen (Fig. 12); nur kommt hier beim Männchen die mächtige Entwickelung der Augen hinzu und infolgedessen eine überwiegende Ausbildung der Sehganglien (3), während im übrigen das Gehirn der Arbeiterin größer ist. Während ferner in der Bauchganglienkette der Ringelwürmer die segmentale Anordnung der Ganglienpaare im allgemeinen gewahrt bleibt (Verschmelzungen von Ganglienpaaren finden sich aber am Vorder- und Hinterende der Egel), treten innerhalb der verschiedenen Klassen der Arthropoden weitgehende Konzentrationen auf, indem in verschiedener Ausdehnung Ganglienpaare verschmelzen, z. B. bei der Fleischfliege (Sarcophaga carnaria L.) alle Ganglien der Bauchganglienkette mit Ausnahme des Unterschlundganglions, ja es kann zur Bildung einer fast einheitlichen Bauchganglienmasse kommen, von der aus die Nervenfasern in den Körper ausstrahlen, so unter den Krebsen bei den Krabben (Fig. 13), unter den Spinnentieren bei den echten Spinnen.

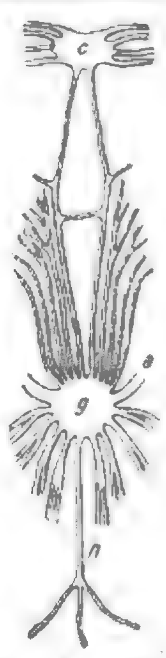


Fig. 13. Zentralnervensystem einer Krabbe. a Nerv des großen Scherenfußes, c Gehirnganglion, g verschmolzene Bauchganglien, n Schwanznerv. Aus Boas, Zoologie.

Einen besonderen Typus in der Ausbildung des Nervensystems zeigen die Chordaten, d. h. Manteltiere und Wirbeltiere. Ihr Nervensystem zeichnet sich dadurch aus, daß sein Zentralteil in seiner ganzen Erstreckung dorsal vom Darm liegt, und daß bei ihm die Verlagerung in die Tiefe in Form einer Einstülpung geschieht: ein Bezirk des Ektoderms zu beiden Seiten der dorsalen Mittellinie des Embryos verdickt sich zur Neural- oder Medullarplatte und senkt sich ein, wobei seine Ränder wulstig als Neural- oder Medullarwülste hervortreten (Fig. 14); so entsteht die Medullarrinne, die sich durch Verwachsung ihrer Ränder zum Me-

Digitized by Google

dullarrohr schließt. Am Vorderende bleibt das Medullarrohr noch einige Zeit offen; diese Stelle, der Neuroporus, schließt sich später ebenfalls. Die Zellen der Wand des Medullarrohrs werden teils zu Neuroblasten, teils zu Gliazellen; es differenziert sich also hier das zentrale Nervensystem intraepithelial. Der Hohlraum des Rohrs wird zum Zentralkanal des Rückenmarks und in seinem vorderen Abschnitt zu den Ventrikeln des Gehirns.

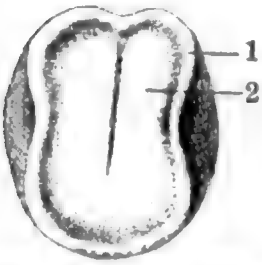


Fig. 14. Junger Tritonembryo von der Dorsalseite. 1 Neuralwulst, 2 Neuralplatte. Nach O. Hertwig.

Unter den Manteltieren ist diese Art der Entwickelung des Nervensystems nur bei den Ascidien erhalten geblieben; die Salpen mit ihrer sehr abgekürzten Entwickelung aus dotterreichen Eiern wiederholen sie nicht. Bei den freischwimmenden Ascidienlarven (Fig. 15) ist der vorderste Abschnitt des Medullarrohrs unter gleichzeitiger Verdickung seiner Wände zur Sinnesblase erweitert, in deren Wand sich das Auge und der statische Sinnesapparat der Larve ausbildet; von dem hinteren Ende des Rückenmarkes aus wird der Ruderschwanz der Larve mit Nerven versorgt. Im Gegensatz zu ihren Larven sind die fertigen anderen Ascidien festsitzend, und zu den Rückbildungserscheinungen, die sich dementsprechend bei ihnen einstellen, gehören auch solche am Nervensystem: der hintere Abschnitt schwindet mit der Festsetzung der Larve, wie der Ruderschwanz, den er innerviert; in der Sinnesblase bilden sich die Sinnesorgane zurück, und sie schrumpft zum Ganglion der Ascidie zusammen. Bei den Salpen, deren Sinnestätigkeit und Muskelbewegung sehr einfach ist, findet sich von vornherein ein Ganglion von nur geringer Ausdehnung, das, entsprechend seinem Zusammenhang mit dem Auge, der Sinnesblase der Ascidienlarven gleichwertig ist.

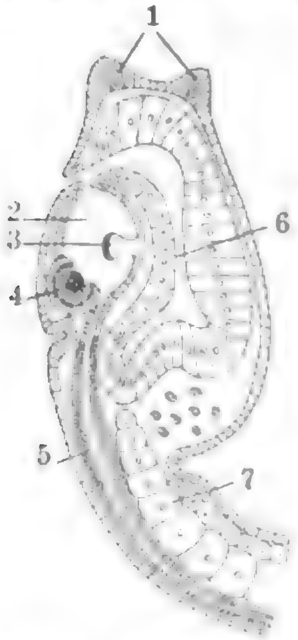


Fig. 15. Schema einer Ascidienlarve. 1 Haftpapillen, 2 Sinnesblase, 3 Statolithenorgan, 4 Auge, 5 Medullarrohr, 6 Darm, 7 Chorda.

Bei den Wirbeltieren entwickelt sich aus dem vordersten Abschnitt des Medullarrohrs, soweit dasselbe später in die Schädelhöhle zu liegen kommt, das Gehirn (Cerebrum, Encephalon); der hintere Abschnitt wird zum Rückenmark (Medulla spinalis).

Das Rückenmark bietet die einfacheren Verhältnisse und seine Kenntnis ist zum Verständnis der hinteren Abschnitte des Gehirns unbedingt notwendig; es soll daher zuerst besprochen werden. Das Rückenmark hat meist einen querovalen oder nahezu runden Querschnitt und ist auf der Ventralseite durch einen Spalt, die Fissura longitudinalis ventralis, tief eingeschnitten. Es zeigt auf dem Querschnitt (Fig. 16) zwei

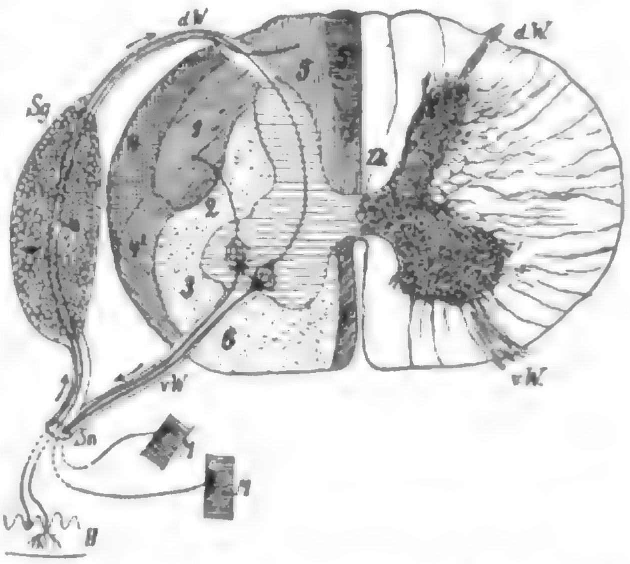


Fig. 16. Schematischer Querschnitt durch das Rückenmark eines Säugers. Rechts das gewöhnliche mikroskopische Bild, links Schema der Leitungsbahnen. dW dorsale Wurzel, H Haut, M Muskel, Sg Spinalganglion, Sn Spinalnerv, vW ventrale Wurzel, Zk Zentralkanal. Vom Gehirn zum Rückenmark leiten die Bahnen 1 bis 3; 1 und 1′ Pyramidenbahn, 2 Zwischenhirn-Rückenmarkbahn, 3 Mittelhirndach-Rückenmarkbahn. Vom Rückenmark zum Gehirn leiten die Bahnen 4 und 5; 4 und 4′ Rückenmark-Kleinhirnbahnen, 5 Hinterstränge mit Fasern von den dorsalen Wurzeln zum Nachhirn; 6 Assoziationsbahnen innerhalb des Rückenmarks.

schon durch ihre Färbung unterschiedene Bestandteile, die als graue und weiße Substanz bezeichnet werden. Die graue Substanz ist im allgemeinen so angeordnet, daß ihr Querschnitt H-förmig ist (bei Cyklostomen breit bandförmig), hat also körperlich die Gestalt eines mit 2 tiefen Kannelierungen (einer dorsalen und einer ventralen) versehenen Balkens; die Querverbindung des H-Balkens wird vom Zentralkanal durchzogen, die Schenkel sind mehr oder weniger verdickt. Die dorsalen Schenkel werden als dorsale Hörner, die ventral gerichteten als ventrale

Digitized by Google

Hörner bezeichnet (die menschliche Anatomie spricht von Hinter- und Vorderhörnern, entsprechend der Orientierung beim aufrecht gehenden Menschen). Die graue Substanz ist ein aus Nervenfasern, Endbäumchen und Dendriten gebildeter Nervenfilz, in dem die Zellkörper von Neuronen eingebettet liegen. Die weiße Substanz dagegen besteht aus längsverlaufenden parallelen markhaltigen Nervenfasern (ohne Schwannsche Scheide), welche die Verbindung zwischen den einzelnen Abschnitten der grauen Substanz unter sich und mit dem Gehirn vermitteln und demgemäß mit ihren Endbäumchen oder mit seitlichen Aestchen (Collateralen) in die graue Substanz eintreten, zum Teil auch aus Zellen dieser Substanz entspringen; Zellkörper von Neuronen sind nicht in der weißen Substanz vorhanden. Wohl aber sind beide Substanzen von einem Gerüstwerk von Neuroglia durchsetzt. Die weiße Substanz wird durch die grauen Hörner in 4 Portionen abgeteilt, die in der menschlichen Anatomie Vorderstränge, Hinterstränge und Seitenstränge genannt werden.

Vom **Rückenmark** gehen in jedem Segment des Körpers ein Paar Spinalnerven aus, deren jeder durch zwei Wurzeln, eine dorsale und eine ventrale, mit dem Rückenmark in Verbindung steht (Fig. 16, links). Die Nervenfasern der ventralen Wurzel gehören zu Neuronen, deren Zellkörper im ventralen Horn der grauen Substanz liegen; sie sind durchweg motorisch. Die Nervenfasern der dorsalen Wurzel haben ihren zugehörigen Zellkörper nicht im Rückenmark (abgesehen von einzelnen Fasern, die zu Zellkörpern der grauen Substanz gehören und wahrscheinlich motorische Fasern des Sympathicus darstellen), sondern in den Spinalganglien (Fig. 16, Sg), segmental angeordneten Zellenhaufen zu beiden Seiten des Rückenmarks. Die Entwickelung der Spinalganglien geht aus von einem einheitlichen Zellstrang, der Nervenleiste oder Ganglienleiste, die aus paarigen Zellmassen an der Schlußstelle des Medullarrohrs entsteht und dann zu beiden Seiten neben dem Rückenmark herabwuchert und zwei gesonderte Zellstränge bildet, die sich zu den Anlagen der Spinalganglien segmentieren. Viele Neuroblasten dieser Ganglien entsenden zwei Fortsätze, deren einer peripheriewärts, der andere von der Dorsalseite her in das Rückenmark hineinwächst. Zahlreiche andere Neuroblasten dagegen bilden nur einen Fortsatz, der im Spinalganglion bleibt und jene ersten Zellen überspinnt; sie selbst sind umsponnen von Endbäumchen von Nervenfasern, die wahrscheinlich aus dem Sympathicus stammen. Die anfangs bipolaren Spinalganglienzellen behalten nur bei Fischen diese Gestalt teilweise bei; bei den übrigen Wirbeltieren rücken die beiden Fortsätze zusammen und verschmelzen eine Strecke weit, so daß man sagt, sie „spalten sich" T- oder Y-förmig in 2 Fasern. Die Nervenfasern der dorsalen Wurzel sind, soweit sie zu Spinalganglienzellen gehören (s. oben), zentripetal leitend, sensorisch. Dorsale und ventrale Wurzel vereinigen sich (außer bei Amphioxus und den Petromyzonten) zum Spinalnerven, der also ein „gemischter" Nerv ist, d. h. motorische und sensorische Fasern enthält.

Die Verknüpfung der motorischen und sensorischen Neuronen kommt auf mehrerlei Weise zustande (Fig. 16, links). Die kürzeste Verbindung geschieht im Rückenmark selbst: die durch die dorsale Wurzel eintretende Faser eines sensorischen Neurons tritt durch ihr Endbäumchen mit einem motorischen Neuron des ventralen Horns in Verbindung und überträgt auf diesen die Erregung, die etwa durch Reizung eines Hautsinnesorgans entstanden war; der motorische Neuron leitet die Erregung zu einem Muskel, der dadurch zur Zusammenziehung veranlaßt wird. Diese kürzeste Verbindung von reizaufnehmender und reizbeantwortender Stelle heißt Reflexbogen. Die Erregung kann aber auch auf Umwegen zum Muskel geleitet werden: die durch die dorsale Wurzel eintretende sensorische Faser verläuft in der weißen Substanz des Rückenmarks (in den Hintersträngen Fig. 16, 5) zum verlängerten Mark und überträgt dort die Erregung auf einen anderen Neuron, der sie zu den Pyramidenzellen der Großhirnrinde weiterleitet; durch deren Nervenfortsatz wird sie in der sogenannten Pyramidenbahn (Fig. 16, 1) wieder in das Rückenmark geleitet und durch das Endbäumchen der Pyramidenfaser auf den Zellkörper eines motorischen Neurons in den ventralen Hörnern der grauen Substanz übertragen und so dem Muskel zugeführt. So denkt man sich den Weg der Erregung, die zu sogenannten „willkürlichen" Bewegungen führt.

Die Masse der grauen, sowohl wie der weißen Substanz wechselt in verschiedenen Gegenden des Rückenmarks. Die graue Substanz ist um so mächtiger, je mehr sensorische Nervenfaser an einer Stelle durch die dorsale Wurzel in das Rückenmark eintreten, und je mehr motorische Fasern durch die ventrale Wurzel austreten. Daher ist sie dort besonders reichlich, wo die Nerven zu den Gliedmaßen gehen; denn an diesen ist sowohl die reizaufnehmende Oberfläche vergrößert als auch die Zahl der innervierten Muskeln vermehrt. Diese Massenzunahme der grauen Substanz bewirkt in der Nacken- und Lendengegend bei den Tieren mit fingertragenden Gliedmaßen eine Anschwellung des Rückenmarks (Intumes-

Digitized by Google

centia cervicalis und lumbalis); bei gliedmaßenlosen Tieren, wie Schlangen, Blindschleiche, fehlen natürlich diese Anschwellungen. Die weiße Substanz nimmt zu, je näher man dem Gehirn kommt; denn die Nervenfasern der weißen Substanz gehen von den verschiedenen Abschnitten des Rückenmarks zum Gehirn oder umgekehrt, soweit sie nicht bloß einzelne Abschnitte des Marks untereinander verbinden. Die auf- und absteigenden Fasern halten im Rückenmark bestimmte Bahnen ein je nach den Endstellen, die sie im Gehirn erreichen. Die bedeutenderen unter diesen Bahnen sind in Fig. 16, 1—6 eingezeichnet (vgl. die Erklärung der Figur).

Das Rückenmark ist ursprünglich beim Embryo vollkommen segmental gelagert, d. h. derart, daß die Ursprünge der Nervenwurzeln mit den Zwischenräumen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wirbeln zusammenfallen. Aber sehr häufig, bei den Säugern immer, wird im Laufe der Entwickelung das Rückenmark verkürzt, sein „Endkegel" rückt nach vorn. Es müssen dann die Nervenwurzeln eine mehr oder weniger lange Wegstrecke im Innern des Wirbelkanals zurücklegen, ehe sie zu ihrer Austrittsstelle gelangen. Die Verkürzung ist gering bei primitiven Formen: so liegt der „Endkegel" beim Igel im letzten Kreuzbeinwirbel, beim Kaninchen im dritten Kreuzbeinwirbel; dagegen rückt er z. B. bei den Primaten erheblich weiter nach vorn: die Neuweltaffen haben ihn im 6. Lendenwirbel, Macacus im 4., der Mensch im ersten Lendenwirbel. Der Endkegel setzt sich in den Endfaden (Filum terminale) fort, und mit diesem gehen zahlreiche Nerven über den Endkegel hinaus und bilden zusammen ein starkes Büschel, das den Namen Cauda equina führt.

In der Gegend der Gliedmaßen verlaufen die Rückenmarksnerven nicht isoliert weiter, sondern verbinden sich unter Verzweigung mit ihren Nachbarn und bilden so einen Nervenplexus (den Cervikal- und Lumbalplexus), aus dem sich dann gesonderte Nervenstämme herausentwickeln, die nicht schlechthin einem oder mehreren bestimmten Spinalnerven gleichgesetzt werden können. So gehen in den Plexus lumbo-sacralis des Menschen 12 Spinalnerven ganz oder teilweise ein, hauptsächlich die Lenden- und Kreuznerven, und es geht eine Anzahl sehr verschieden dicker Nerven daraus hervor, unter denen der N. peronaeus und tibialis, die beiden Hauptäste des Schenkelnerven (N. ischiadicus) die weitaus bedeutendsten sind.

Das Gehirn entwickelt sich aus dem vordersten Abschnitt des Medullarrohrs. Der Zentralkanal erweitert sich hier, und zwar zunächst an 3 Stellen stärker, es entstehen die drei primären Hirnbläschen (von hinten nach vorn Rhombencephalon, Mesencephalon, Prosencephalon). An dem vorderen und hinteren Hirnbläschen sondern sich wieder jedesmal zwei Abschnitte, so daß im ganzen 5 Hirnabschnitte angelegt werden, das Nachhirn, Hinterhirn, Mittelhirn, Zwischenhirn, Vorderhirn (Myelencephalon, Metencephalon, Mesencephalon, Diencephalon, Telencephalon) (Fig. 17 und 18). Wenn man Nachhirn und

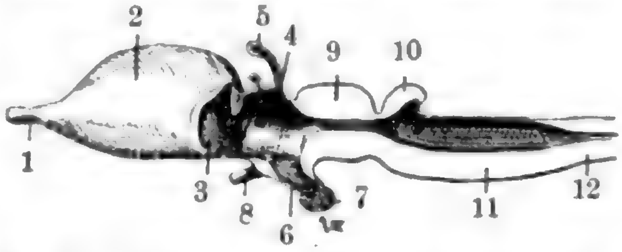


Fig. 17. Schema eines Wirbeltiergehirns im Medianschnitt. 1 Bulbus olfactorius, 2 Telencephalon, 3 Corpus striatum, 4 Diencephalon, 5 Epiphyse, 6 Infundibulum, 7 Hypophyse, 8 Sehnerv, 9 Mesencephalon, 10 Cerebellum, 11 Myelencephalon, 12 Medulla. Der Pfeil III zeigt die Richtung von Schnitt III in Fig. 18.

Hinterhirn durch einen senkrechten Schnitt aus dem Rhombencephalon abteilt, bekommt man eine künstliche Teilung; denn

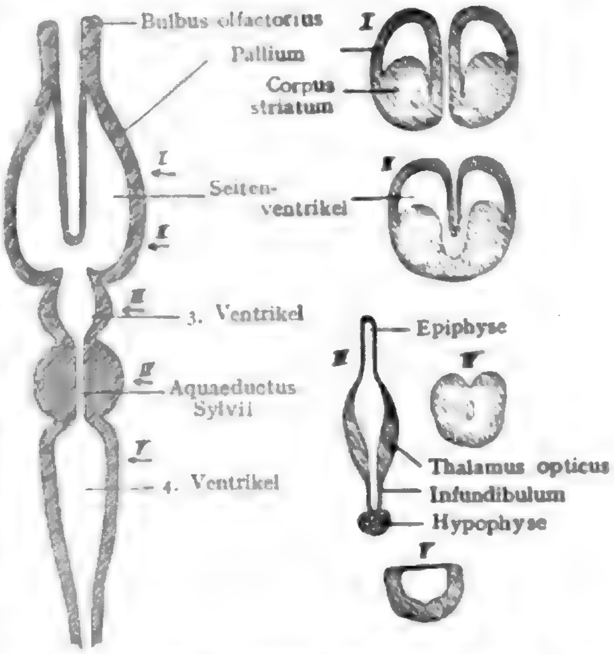


Fig. 18. Schematischer Frontalschnitt durch das Gehirn eines Wirbeltieres, links. Die Figuren I bis V rechts sind Querschnitte, die in der Höhe der Pfeile I bis V geführt sind; zu III vgl. auch Pfeil III in Fig. 17.

das Dach des Hinterhirnabschnittes bildet ein geschlossenes Ganzes, das Cerebellum, während der Boden desselben mit dem Nachhirn organisch zusammengehört und dessen

Digitized by Google

natürliche Fortsetzung nach vorn bis zum Mittelhirn bildet; die beiden sollen daher als verlängertes Mark, Medulla oblongata zusammengefaßt werden. Das Vorderhirn entsteht auch nicht derart, daß die erste primäre Hirnblase sich teilt; vielmehr wachsen an ihrem Vorderende, meist etwas dorsalwärts, 2 Ausstülpungen hervor, die Hemisphären, die die Grundlage des Vorderhirns bilden, während der Rest zum Zwischenhirn wird.

Während das Rückenmark bei Amphioxus sich im allgemeinen dem Schema desjenigen der übrigen Wirbeltiere einordnen läßt (wobei es freilich durch seine äußere Form mit annähernd dreieckigem Querschnitt, durch das Fehlen einer Sonderung von grauer und weißer Substanz und durch die fehlende Vereinigung der dorsalen und ventralen Nervenwurzeln davon abweicht), läßt sich der vorderste Abschnitt des Neuralrohrs nicht ungezwungen auf das allgemeine Gehirnschema der Wirbeltiere bringen. Der Zentralkanal erweitert sich durch Verdünnung seiner Wände, ohne Zunahme des äußeren Umfangs, und hinter dieser Erweiterung liegt eine mehr dorsal gelegene Hohlraumbildung. Zum Vergleich dieser Bildungen mit den drei primären Hirnblasen liegt keine Berechtigung vor. Eher könnte man für die vordere Erweiterung die Sinnesblase der Ascidienlarven zum Vergleich heranziehen, wenn man den unpaaren Pigmentfleck am Vorderende des Nervenrohrs als rudimentäres Auge betrachtet, was nicht einwandfrei ist. Immerhin ist in der Erweiterung des Binnenraumes ein wichtiger Vergleichspunkt zum Gehirn der übrigen Wirbeltiere vorhanden und man kann diese als primitivste Hirnbildung auffassen und mit Kupffer als Urhirn, Archencephalon bezeichnen. Der Mangel höher ausgebildeter Sinnesorgane am Kopf kann die geringe Entwickelung dieses Urhirns verständlich machen. Die vielleicht dem chemischen Sinne dienende Flimmergrube am Vorderende, die sich im Anschluß an den Neuroporus (vgl. oben S. 130) entwickelt, kann entsprechend dieser Herkunft nicht mit der Riechgrube der übrigen Wirbeltiere verglichen werden.

Der Zentralkanal wird zu den Binnenräumen der verschiedenen Hirnabschnitte erweitert (Fig. 18). Innerhalb der Hemisphären werden diese Räume als Seitenventrikel bezeichnet, im Zwischenhirn liegt der 3. Ventrikel und im Nachhirn der 4. Zwischen dem 3. und 4. Ventrikel, also im Gebiete des Mittelhirns, ist der Zentralkanal eng und wird Sylviussche Wasserleitung (Aquaeductus Sylvii) genannt. Alle diese Hohlräume sind von einer eiweißhaltigen Flüssigkeit erfüllt (Cerebrospinalkanalflüssigkeit), die mit den Gefäßen der Adergeflechte (Plexus chorioides s. u.) im Stoffaustausch steht.

Während bei den niederen Wirbeltieren alle 5 Abschnitte des Gehirns so hintereinander liegen, daß die durch sie gelegte Achse nahezu gerade verläuft und in die Verlängerung des Rückenmarkkanals fällt, treten schon bei den Reptilien und ausgesprochener bei den Vögeln und Säugern Krümmungen der Achse auf (Fig. 19). Bei den Säugern entsteht zuerst eine solche mit ventraler Konkavität im Gebiete des Mittelhirns, die

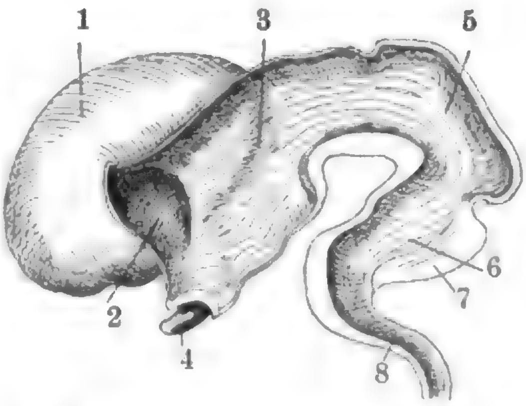


Fig. 19. Medianschnitt durch das Gehirn eines menschlichen Embryo aus der 5. Woche. Nach His. 1 Telencephalon, 2 Corpus striatum, 3 Diencephalon, 4 Sehnerv, 5 Mesencephalon, 6 Metencephalon, 7 Cerebellum, 8 Myelencephalon. Bei 5 Kopfbeuge, links von 8 Brückenbeuge, rechts von 8 Nackenbeuge.

Kopfbeuge, dann eine ebensolche im Gebiete des Nachhirns, die Nackenbeuge und schließlich eine solche mit dorsaler Konkavität im Gebiete des Hinterhirns, die Brückenbeuge.

Jene 5 Abschnitte des Gehirns kehren (das Cerebellum in einigen Fällen ausgenommen) bei allen Wirbeltieren wieder. Aber sie sind sehr verschieden ausgebildet, und zwar variieren sie unabhängig voneinander, so daß bei einem Tiere einzelne Hirnabschnitte überwiegen, andere unverhältnismäßig klein bleiben können. Dabei sind das verlängerte Mark und das Zwischenhirn am beständigsten, mehr wechselt das Mittelhirn und am größten sind die Schwankungen beim Vorderhirn und dem Cerebellum. Der Ausbildungsgrad der einzelnen Teile hängt aufs innigste mit ihren Leistungen zusammen: bei Tieren, die sich vorwiegend durch die Augen orientieren, wie Knochenfische und Vögel, ist das Mittelhirn groß; bei solchen, die sich besonders durch den Geruchssinn leiten lassen, sind die basalen Abschnitte des Vorderhirns stark entwickelt, wie bei den Haifischen und den Säugern; Tiere, für die das genaue Ineinandergreifen der Einzelbewegungen besonders wichtig ist, wie Schwimmer und Flieger, haben ein großes Cerebellum, solche, die über hohe psychische Fähigkeiten verfügen, sind mit mächtigen Hemisphären ausgestattet. So steht die relative Ausbildung der Hirnabschnitte im engsten Zusammenhang mit ihren Funktionen: das Gehirn besitzt eine funktionelle Gestalt.

Das Myelencephalon und der in seiner

Digitized by Google

Verlängerung liegende ventrale Teil des Metencephalon werden als **verlängertes Mark** (**Medulla oblongata**) zusammengefaßt. Eine scharfe Grenze gegen das Rückenmark ist nicht vorhanden, vielmehr geht dieses allmählich in das Gehirn über, indem seine verschiedenen Teile dort ihre Fortsetzung finden. Aber die Gestaltung des verlängerten Markes wird dadurch wesentlich kompliziert, daß noch neue Bestandteile hinzukommen und die regelmäßige Anordnung der aus dem Rückenmark kommenden Teile verändert wird. So behalten die Faserzüge der weißen Substanz nicht ihre gegenseitige Anordnung bei, sondern es treten mehrfach Kreuzungen auf, d. h. Uebergänge von Fasersträngen der rechten Seite auf die linke und umgekehrt, und es endigen manche der weißen Bahnen in „grauen Kernen" des verlängerten Markes, von denen dann wieder neue Bahnen ausgehen. Die auffälligtse Kreuzung ist die der Pyramiden-Seitenstrangbahnen (Fig. 16, 1) des Rückenmarks, gleich am Uebergang vom Rückenmark zur Oblongata; die so gekreuzten Bahnen verlaufen dann zu beiden Seiten der ventralen Mittellinie als rundliche vorspringende Stränge, die Pyramiden (Fig. 20) nach vorn; ihre Fasern gehören zu Zellkörpern im Vorderhirnmantel. Die mächtigsten Neubildungen in der Oblongata sind die Oliven (Corpora olivaria) ein paar „Kerne" von grauer Substanz mit zahlreichen Ganglienzellen; beim Menschen und den höheren Säugern sind sie sehr stark ausgebildet (Fig. 20) und umfassen becher-

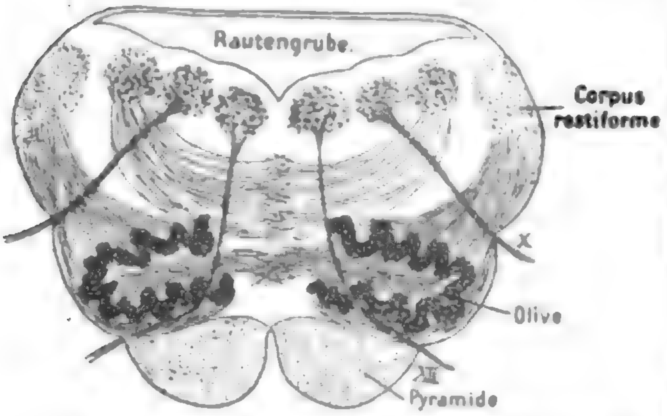


Fig. 20. Schematischer Querschnitt durch die Medulla oblongata. In Anlehnung an Edinger. X N. vagus, XII N. hypoglossus.

förmig mit gewellten Wänden einen weißen, zu ihnen führenden Faserinhalt, während von ihrer Oberfläche starke Faserzüge zu den sogenannten Restkörpern (Corp. restiformia) und in ihnen zum Cerebellum führen. Die Oliven sind Apparate, in denen Verknüpfungen von Neuronen verschiedenster Herkunft stattfinden, Assoziationszentren. Dazu kommt die Erweiterung des Zentralkanals zur Rautengrube (4. Ventrikel): es ist gleichsam eine Aufspaltung des dorsalen Teils des Rückenmarks, mit dem Erfolg, daß die graue Substanz der dorsalen und ventralen Hörner nicht mehr übereinander, sondern nebeneinander am Boden der Rautengrube liegt (Fig. 20).

Von der Oblongata entspringt die Mehrzahl der **Gehirnnerven**, nämlich der 5. bis 12, und auch der 3. und 4. können als Oblongatanerven angesehen werden, deren Austrittsstelle allmählich nach vorn gerückt ist. Diese Gehirnnerven verhalten sich insofern genau so wie die Rückenmarksnerven, als die motorischen Neurone ihre Zellkörper im Zentralorgan haben, während die (wenigstens physiologisch) bipolaren Zellkörper der sensorischen Neurone außerhalb des Zentralorgans in besonderen Ganglien liegen und außer der peripheren Faser noch eine zentrale, zum Gehirn gehende Faser besitzen. Es wachsen also, entwickelungsgeschichtlich, die Nervenfasern der motorischen Nerven aus dem Gehirn heraus, die der sensorischen in das Gehirn hinein. Aber die Regelmäßigkeit in Bau und Anordnung der Rückenmarksnerven, ihre Zusammensetzung aus einer motorischen und einer sensorischen Wurzel und ihre segmentale Folge läßt sich nicht einfach wiedererkennen. Die Oblongata zeigt embryonal eine deutliche Segmentierung, aber in der Anordnung ihrer Nerven spiegelt sich diese nicht wieder. Durch Verschmelzung mehrerer Nervenwurzeln zu einer Einheit und durch gelegentlichen Ausfall der motorischen oder sensorischen Wurzel sind die Verhältnisse kompliziert. Aber wir haben Anzeichen dafür, daß die Oblongatanerven sich ursprünglich dem Schema der Rückenmarksnerven fügten. So findet man am 12. Gehirnnerven, dem Hypoglossus, der beim Menschen rein motorisch ist, bei menschlichen Embryonen ein sensorisches Ganglion, das aber zurückgebildet wird; bei Raubtieren und Wiederkäuern bleibt es zeitlebens bestehen. Der bei den höheren Wirbeltieren rein motorische 7. Gehirnnerv, der Facialis, hat bei den Fischen einen starken sensorischen Anteil; der rein sensorische 8. Gehirnnerv, der Acusticus, ist nur als eine Abgliederung dieser sensorischen Facialiswurzel aufzufassen. Alle diese Veränderungen sind in letzter Linie darauf zurückzuführen, daß das Innervationsgebiet der Oblongata, speziell der Visceralteil des Kopfes mit den Kiemenbögen in der Stammesentwickelung überaus große Umwandlungen durchgemacht hat, durch Rückbildung einzelner und Größenzunahme anderer Muskelgruppen, durch Schwund und Umwandlung von Sinnesorganen, durch Verlagerungen und Neubildungen. Indem die Nerven sich den veränderten Funktionen anpaßten, wurde ihre Gestalt gleichzeitig geändert.

Digitized by Google

Die Gehirnnerven sind, von vorn nach hinten gezählt, folgende (wobei die in Klammern beigefügten Buchstaben bedeuten s sensorisch, m motorisch, sm gemischt): 1. Olfactorius, Riechnerv (s); 2. Opticus, Sehnerv (s); 3. Oculomotorius (m); 4. Trochlearis (m); 5. Trigeminus (sm); 6. Abducens (m); 7. Fazialis ([s]m); 8. Acusticus ‚Hörnerv' (s); 9. Glossopharyngeus, Geschmacksnerv (sm); 10. Vagus (sm); 11. Accessorius (sm); 12. Hypoglossus, Zungenfleischnerv ([s]m).

Der 1. und 2. Gehirnnerv nehmen gegenüber den folgenden eine Sonderstellung ein, die nicht nur auf ihrer Eintrittsstelle ins Gehirn beruht. Der Olfactorius, der an der Basis des Vorderhirns eintritt wird durch die Fortsätze der Sinneszellen des Riechepithels gebildet; er unterscheidet sich von anderen sensorischen Nerven dadurch, daß von den Zellkörpern der Neurone hier nur nach einer Seite ein Nervenfortsatz abgeht; seine Neurone sind unipolar, nicht wie sonst bipolar. Der 2. Gehirnnerv aber, der Opticus, ist gar kein peripherer Nerv, sondern eine Verbindung zwischen verschiedenen Hirnabschnitten, da die Netzhaut des Auges ja nur ein ausgestülpter Abschnitt der Zwischenhirnwand ist; man könnte ihn eher als Nervenstrang (Tractus) bezeichnen. Der 3., 4. und 6. Gehirnnerv sind Augenmuskelnerven. Der 5. Gehirnnerv, der Trigeminus, ist der Nerv, der zum ersten Schlundbogen des primitiven Visceralskeletts gehört; mit dessen Umbildung zum Ober- und Unterkiefer bei den gnathostomen Wirbeltieren ist er zu einem der mächtigsten Gehirnnerven geworden und innerviert die Muskeln und Sinnesorgane der Kiefer. Seine sensorische Wurzel geht aus dem großen Ganglion Gasseri hervor. Der 7. und 8. Gehirnnerv entspringen in nahem Zusammenhang, wie sie sich ja auch zueinander etwa wie eine motorische und sensorische Wurzel verhalten (s. oben); bei den Fischen gehören zum Facialis die starken sensorischen Nerven der Seitenkanäle und ihrer am Kopf verzweigten Fortsetzungen. Die Ganglien des Hörnervs sind das Ganglion labyrinthi und das Ganglion spirale der Schnecke. Der Glossopharyngeus versorgt die Zungenmuskulatur und die Geschmacksknospen. Ein Nerv von hoher Bedeutung ist der 10. Gehirnnerv, der Vagus. Er sendet Aeste zum Kehlkopf, zu den Lungen, zum Herzen, zum Schlund, und zum Magen, breitet sich also über ein sehr großes Gebiet aus; daher sein Name Vagus, der „Herumschweifende". Die Erklärung für solche Ausdehnung bietet die Entwickelungsgeschichte: bei Embryonen und auch noch bei primitiven Wirbeltieren liegen diese Organe viel weiter nach vorn und näher beisammen; bei ihrem Auseinanderrücken folgten ihnen die Aeste des Nerven. So erklärt sich z. B. auch die sonderbare Anordnung des rückläufigen Vagusastes, des Ramus recurrens: er biegt um die vom Herzen ausgehenden Aortenbögen herum und verläuft wieder kopfwärts zum Kehlkopf; bei der Rückwärtsverlagerung des Herzens bei gleichbleibender Lage des Kehlkopfes ist diese Schlinge um die Aortenbögen mehr und mehr ausgezogen. Als Eingeweidenerv berührt sich der Vagus in seiner Tätigkeit mit dem Sympathicus (s. unten), sie ergänzen sich gegenseitig. Der Accessorius sendet seine Fasern schon an Muskeln, die zur vorderen Gliedmaße gehen und bildet so funktionell den Uebergang zu den Rückenmarksnerven. Der Hypoglossus innerviert die Zungenmuskulatur.

Während so die Oblongata sehr zahlreiche Nerven besitzt, kommen den vorderen Hirnabschnitten teils gar keine, teils nur wenige Nerven zu. Sie sind eben in der Hauptsache nur Stätten der Nervenverknüpfung, Assoziationszentren, einander teils neben-, teils übergeordnet. Wie ein Ministerium keinen Schalterdienst hat, sondern nur durch seine untergeordneten Behörden mit dem Publikum verkehrt, so haben diese Zentren nur wenige direkte Beziehungen zur Außenwelt; die Mehrzahl der ihnen zukommenden Erregungen stammen aus der Oblongata und dem Rückenmark und alle von ihnen ausgehenden Reaktionen gelangen auf diesen beiden Wegen nach außen.

Das Cerebellum entsteht aus dem vorderen Abschnitt des Dachs der dritten primären Hirnblase. Es ist überaus wechselnd in seiner Ausbildung (Fig. 21, schwarz). Bei manchen niederen Wirbeltieren (den Myxinoiden und dem Grottenolm Proteus) fehlt es gänzlich, bei anderen ist es spärlich entwickelt, während viele ein mächtig ausgebildetes Cerebellum besitzen. Es zeigt sich eine gewisse Beziehung zwischen der Ausbildung des Cerebellums und der Bewegungsart der Tiere: jene Tiere, bei denen es auf eine genaue Koordination der Einzelbewegungen ankommt, also diejenigen, die in einem nachgiebigen Medium frei schweben wie die schwimmenden Fische und die fliegenden Vögel, sowie die auf ihren 4 Gliedmaßen wie auf Stelzen balanzierenden Säuger, haben ein großes Cerebellum. Bei den Grundfischen, bei den parasitisch angesaugten Neunaugen, bei den mit dem Bauche aufliegenden Amphibien und Reptilien ist das Cerebellum klein. Das Cerebellum ist das Organ, welches das Zusammenwirken der Bewegungen regelt. Bei den Knochenfischen z. B. übertrifft es alle übrigen Hirnteile an Mächtigkeit und verdient dort keineswegs den Namen „Kleinhirn", den es bei Mensch und Säugern im Gegensatz zum Vorderhirn = Großhirn bekommen hat. Bei den Vögeln

Digitized by Google

und Säugern ist die Rindenfläche des Cerebellums durch zahlreiche querstehende Falten sehr vergrößert. Bei den Säugern, speziell beim Menschen, ist ein schmaler medianer Teil des Cerebellums gegenüber den Seitenteilen eingesenkt; die letzteren werden als

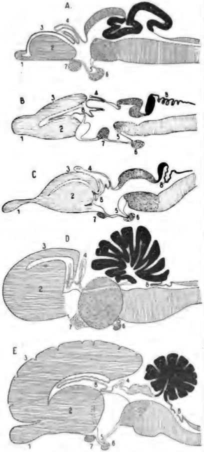


Fig. 21. Schema des Gehirns von A Knochenfisch, B Amphibium, C Reptil, D Vogel, E Säuger. 1 Bulbus olfactorius, 2 Corpus striatum, 3 Pallium, 4 Epiphyse, 5 Infundibulum, 6 Hypophyse, 7 Sehnervenkreuzung, 8 Tela chorioidea. Telencephalon wagrecht schraffiert, Diencephalon weiß, Mesencephalon punktiert, Cerebellum schwarz, Medulla oblongata senkrecht schraffiert. In Anlehnung an Edinger.

Hemisphären bezeichnet, der mittlere Abschnitt hat den Namen „Wurm". Vom Kleinhirn führen Fasermassen, zu starken Strängen vereinigt, zur Oblongata und zu den Brückenganglien, einer Ganglienmasse, die sich der Oblongata unter dem Kleinhirn dorsal von den Pyramiden anlegt. Bei den Säugern umgreift die letztere Fasermasse als Brücke den vordersten Teil der Oblongata von der Ventralseite her. Die Brücke vermittelt durch ihre Ganglien den Uebergang von Großhirnfasern in das Cerebellum; in den Brückenganglien endet die Mehrzahl der Fasern, die als Pedunculi cerebri oder Hirnschenkel von vorn her, unter dem Mittelhirn verlaufend, hier ankommen und von denen nur ein kleiner Teil zur Oblongata und zum Rückenmark weiterzieht.

Das Mittelhirn (Fig. 21, punktiert) stellt einen mächtigen Abschnitt des Gehirns dar, der nur vom Großhirn bei den Säugern, vom Cerebellum bei den Knochenfischen an Masse übertroffen wird. Es ist durch die ganze Wirbeltierreihe ziemlich gleichmäßig ausgebildet, besonders in seinem ventralen Abschnitt, welcher der Verknüpfung von Fasern dient, die aus allen Hirnteilen in ihn einstrahlen. Im Mittelhirndach endigen bei den meisten Wirbeltieren die aus der Netzhaut entspringenden Fasern des Sehnerven. Dieser Teil ist daher bei denjenigen Wirbeltieren, die sich vorwiegend mit Hilfe der Augen orientieren (Knochenfische, Vögel) besonders stark entwickelt. Bei den Säugern dagegen ist eine Verlegung der zentralen Endigungen des Sehnerven nach vorn eingetreten; die Sehnervenfasern münden in den Kniehöcker (Corpus geniculatum externum) des Zwischenhirns, und von dort gehen zahlreiche Verbindungen zur Sehrinde der Großhirnhemisphären. Das Mittelhirndach der Säuger, die Vierhügel (Corpora quadrigemina), nimmt nur in seinem vorderen Teile wenige Opticuselemente auf; im übrigen treten hier Bahnen aus der Großhirnrinde ein und gehen andererseits Züge zur Oblongata und dem Rückenmark ab.

Das Zwischenhirn (Fig. 21, weiß gelassen) ist hauptsächlich durch seine eigenartigen Anhangsbildungen charakterisiert: seine Dorsalwand trägt als Ausstülpungen die sogenannte Epiphyse und die Paraphyse, die ventrale Wand ist als Trichter oder Infundibulum ausgestülpt. Die Epiphyse oder Zirbel (Pinealorgan, „Glandula" pinealis) ist bei manchen Wirbeltieren (Petromyzon, Saurier) als unpaares Scheitelauge ausgebildet das vielleicht noch als Sinnesorgan (siehe dort) fungiert; es ist dies um so interessanter, als das embryonale Zwischenhirn auch den Mutterboden bildet, von dem aus sich die Retina der paarigen Augen entwickelt. Bei den meisten Wirbeltieren jedoch bildet

Digitized by Google

die Zirbel ein rudimentäres Organ. Die ventrale Ausstülpung, der Trichter, tritt zu einem drüsigen Organ in Beziehung, das durch Einstülpung von der embryonalen Mundbucht aus entstanden ist, und bildet mit ihm den Hirnanhang (Hypophyse, Glandula pituitaria). Die Seitenmassen des Zwischenhirns sind bei den niederen Wirbeltieren schwächer ausgebildet als bei den Säugern, wo die Ganglienmassen des Sehhügels, Thalamus opticus, die Verknüpfung zwischen Sehnervenden und Großhirnrinde vermitteln.

Das Vorderhirn (Fig. 21, längsgestreift) kommt dem Cerebellum an Mannigfaltigkeit seiner Ausbildung gleich; aber es variiert nicht in allen seinen Teilen gleichmäßig. Die Hemisphärenblasen bergen in ihrem Innern das Stammganglion (Corpus striatum) (Fig. 21, 2; Fig. 17 und 18), das von ihnen als dem Mantel (Pallium) umgeben wird. Am Vorderende treten die Fasern des Riechnerven in einen kolbenartigen Fortsatz der Vorderhirnbasis ein, den Bulbus olfactorius, und von ihm aus strahlen die sekundären Riechbahnen in den Riechlappen (Lobus olfact.) und benachbarte Mantelteile aus; soweit sie reichen, erstreckt sich das Riechhirn. Bei Fischen und Amphibien gehört der ganze Mantel zum Riechhirn. Von den Reptilien an findet sich ein Mantelabschnitt, der von den sekundären Riechbahnen nicht erreicht wird und dieser Teil bildet den Ausgangspunkt für die mächtige Entwickelung des Großhirnmantels, die sich in der Reihe der Säuger vollzieht. Dieser Mantelabschnitt bildet eine an Zellkörpern und Zellverknüpfungen sehr reiche Hirnrinde aus; wir können ihn als Neopallium bezeichnen, im Gegensatz zu dem Archipallium, das die Mantelteile des Riechhirns umfaßt. Neopallium und Archipallium werden bei den Säugern durch eine Furche, die Fissura limbica, getrennt. Das Archipallium und das Stammganglion zeigen nun eine große Beständigkeit, während das Neopallium überaus wechselnd ist. Es entwickelt sich bei den höheren Säugern zum umfangreichsten Abschnitt des ganzen Gehirns (Fig. 22) und gewinnt dabei die Herrschaft über tiefere Zentren, die bei niederen Formen noch selbständig arbeiten. Während so bei den Säugern die Größenzunahme des Vorderhirns auf Wachstum des Mantels beruht, geht sie bei den Vögeln andere Wege: hier nimmt das Stammganglion zu, und es fügen sich ihm neue Teile an, während der Mantel verhältnismäßig unbedeutend bleibt (Fig. 21 D).

Bei den niederen Säugern, den Kloakentieren, Insektenfressern und Nagern ist die Ausdehnung des Hirnmantels noch verhältnismäßig gering; oft bleibt ein Teil des Mittelhirns von ihm noch unbedeckt. Bei den höheren Formen aber erstrecken sich die Hemisphären mehr und mehr nach hinten und unten, und beim Menschen decken sie sogar das Cerebellum von oben her. Die einander paarig entsprechenden Teile des Riechhirns sind, wie schon bei den Reptilien, durch Faserzüge verbunden, die Kommissuren, von denen die Commissura anterior und das Psalterium (Fig. 23) am ansehnlichsten sind. Mit zunehmender Entwickelung des Neopalliums entsteht auch zwischen seinen beiden Hälften eine Kommissur, der sogenannte Balken (Corpus callosum) (Fig. 23); er liegt immer dorsal von den Kommissuren des Archipalliums und wird um so mächtiger, je mehr das Neopallium an Masse zunimmt. Ein Balken fehlt ganz bei den Kloakentieren und Beutlern, tritt bei einigen Fledermäusen in geringen Anfängen auf und wird schließlich die mächtigste Verbindung zwischen den Hemisphären.

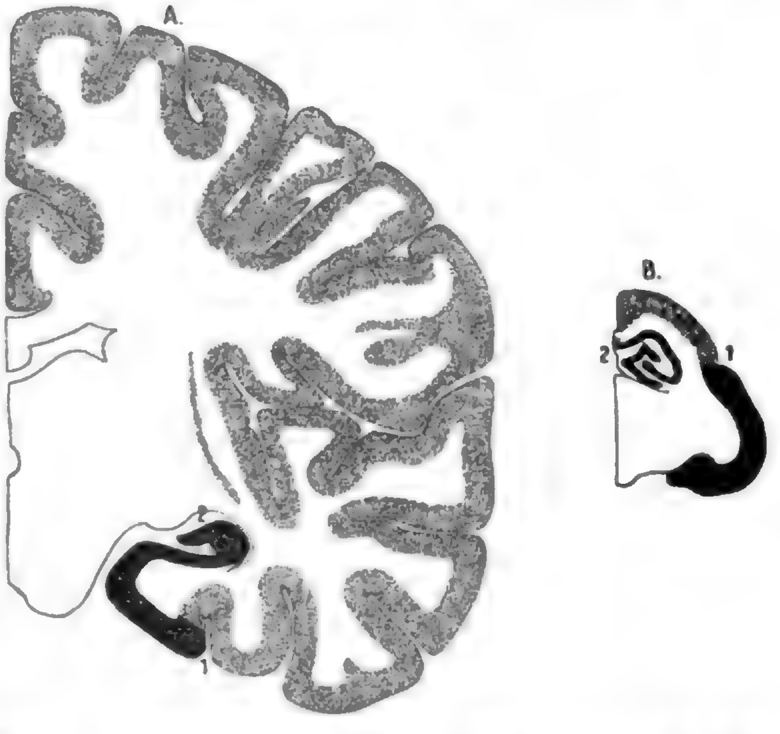


Fig. 22. Frontalschnitt durch die Hemisphäre A vom Menschen, B vom Igel aus der Gegend des größten Umfangs der Hippocampusregion. Neopallium punktiert, Rinde des Lobus pyriformis und der Regio hippocampica schwarz. 1 Sulcus rhinalis posterior, 2 Ammonshorn. A $^3/_4$, B $^3/_2$ nat Gr. Nach Brodmann.

Digitized by Google

Die Erweiterung des Schädelraumes geht der Ausdehnung des Neopalliums nicht parallel; so wird eine weitere Vermehrung der Manteloberfläche und Ausdehnung der Hirnrinde dadurch erreicht, daß in der Hemisphärenwand Furchen und Falten (Sulci und Fissurae) entstehen, welche durch die Hirnwindungen (Gyri) getrennt sind. Es gibt Säuger, denen diese Furchen fast ganz fehlen; man stellt sie als lissencephale denen mit windungsreichen Gehirnen, den gyrencephalen gegenüber. Da die Hirnfurchen innerhalb derselben Tierart im allgemeinen konstant sind, so bieten sie ein Mittel für eine

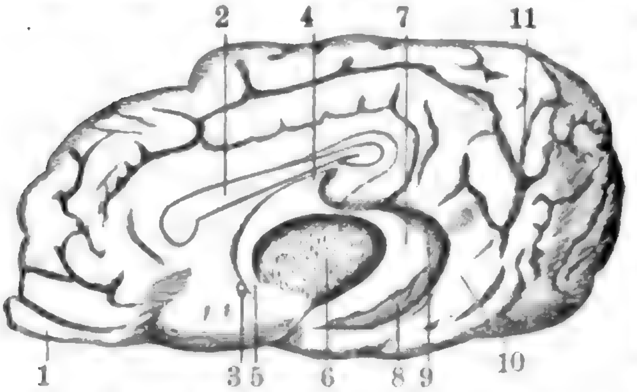


Fig. 23. Mediale Ansicht des Kalbsgehirns. Nach Edinger. 1 Riechlappen, 2 Balken, 3 Commissura anterior, 4 Psalterium, 5 Fornix, 6 Thalamus opticus, 7 Fimbria, 8 Gyrus dentatus, 9 Fissura hippocampi, 10 Gyrus hippocampi, 11 Fissura calcarina.

genaue Einteilung der Hirnoberfläche. Bei verwandten Tieren kann man ebenfalls eine entsprechende Anordnung vergleichbarer Furchen und Windungen finden; doch ist eine Homologisierung durch die ganze Reihe der gyrencephalen Säuger nicht möglich, da sich die meisten Furchen bei fernerstehenden Formen nicht vergleichen lassen. Zu den sehr häufig wiederkehrenden Furchen gehört z. B. die Fissura calcarina auf der medialen Seite der Hemisphären (Fig. 23), die einen wulstförmigen Vorsprung der Hirnwand in den Ventrikel hinein, den Vogelsporn (Calcar avis) bewirkt; ebenso ist auf der lateralen Fläche eine ventrale Einstülpung der Hirnwand, die Fissura Sylvii, fast überall vorhanden; die meisten Furchen aber sind wechselnd. Allgemein verbreitet bei den Säugern, auch bei den lissencephalen, ist nur eine Falte, die regelmäßig an der medialen Wand des Archipalliums, parallel dem ventralen Hemisphärenrande auftritt, das ist die Ammonsfalte (Fissura hippocampi); sie bewirkt eine Einstülpung der Hirnwand in den Ventrikel hinein, die als Gyrus hippocampi bezeichnet wird, und zwischen ihr und dem freien Hemisphärenrand liegt der Gyrus dentatus (Fig. 23). Bei niederen Säugern verläuft die Ammonsformation über die Mitte der Medianfläche; mit stärkerer Entwickelung des Balkens wird sie mehr und mehr nach hinten, auf den sogenannten Schläfenlappen gedrängt. Aus der Ammonsformation treten Züge markhaltiger Fasern in einem mächtigen, paarigen Bündel aus, das im Bogen unter dem Balken entlang nach vorn zieht; es heißt in seinem hinteren Teile Fimbria, in dem vorderen, seinem Verlauf entsprechend, Fornix = Gewölbe (Fig. 23).

Eine wirkliche Homologisierung einzelner Rindengebiete bei verschiedenen Säugern ist mit Sicherheit nur möglich auf Grund genauer Untersuchungen des Aufbaus der Rinde. Wie der Hirnmantel funktionell nicht einheitlich ist, so zeigt auch seine Rinde an verschiedenen Stellen Verschiedenheiten im Bau, speziell in der Schichtung der Zellen. Auf Grund dieser Unterschiede kann man eine Anzahl von Feldern abgrenzen, die wieder zu größeren Regionen zusammengefaßt werden können. Ihre gegenseitige Lagerung bei verschiedenen Säugern ist eine vollkommen entsprechende, ihre Zahl nimmt bei mächtiger entwickeltem Hirnmantel zu; so kann man bei manchen niederen Affen bis zu 30, beim Menschen etwa 50 Einzelfelder unterscheiden. Auf Fig. 24 A—C sind einzelne homologe Felder in entsprechender Weise bezeichnet, um einen Begriff von den Verschiedenheiten zu geben; interessant ist das Ueberwiegen des Stirnhirns beim Menschen, d. h. des Gebietes nach vorn von Feld 6.

Die Größenverhältnisse des zentralen Nervensystems wechseln mannigfach und bei richtiger Vergleichung erhält man ein sehr lehrreiches Bild von dem Zusammenhang zwischen Ausbildung und Leistung dieses Systems. Bei dem halbparasitischen Schleimfisch (Myxine) ist das Rückenmark dem Gehirn an Größe sehr überlegen; bei anderen Wirbeltieren ergibt die Vergleichung der beiden Abschnitte, wenn das Rückenmark = 1 gesetzt wird, folgende Werte für das Gehirn: Feuersalamander 0,9, Grasfrosch 1, Rind 1,5, Karpfen, Huhn, Kaninchen 2, Gürteltier nahezu 3, Igel 4, Fledermäuse etwa 6, Makak über 8, Elefant 10,9 und Mensch 26. — Bei gleich großem Rückenmark (7,5 g) hat die Hauskatze ein Hirngewicht von 29 g, der Makak von 62 g. Eine Vergleichung verschieden großer verwandter Tiere zeigt, daß die kleineren Formen ein relativ größeres Hirngewicht haben; so wiegt das Gehirn des Löwen 1,8‰ des Körpergewichtes, das der indischen Zwergkatze (Felis minuta) 17,5‰. Vergleichen wir gleichschwere Tiere, so erhalten wir: bei einem Körpergewicht von 750 g ist das Hirngewicht beim Igel 3,4 g, bei dem räuberisch lebenden Zibethbeutler (Dasyurus viverrinus) 6 g, bei einem Halbaffen (Perodicticus potto) 10,7 g, und bei einer Meerkatze (Cercopithecus talapoin) 39 g. Vergleicht man den Menschen mit gleichgroßen Säugern, so springt das Uebergewicht seines Gehirns deutlich in die Augen: das durchschnittliche Hirngewicht beim Menschen ist 1350 g, das eines Gorilla

Digitized by Google

430 g, das eines Leonbergers 135 g. Im übrigen hat der Mensch weder absolut noch relativ das größte Hirngewicht; an absolutem Gewicht übertreffen ihn der Elefant und die großen Wale; mit seinem relativen Hirngewicht von 25‰ des Körpergewichts steht er hinter dem amerikanischen Klammeräffchen (Ateles ater) mit 66‰ weit zurück.

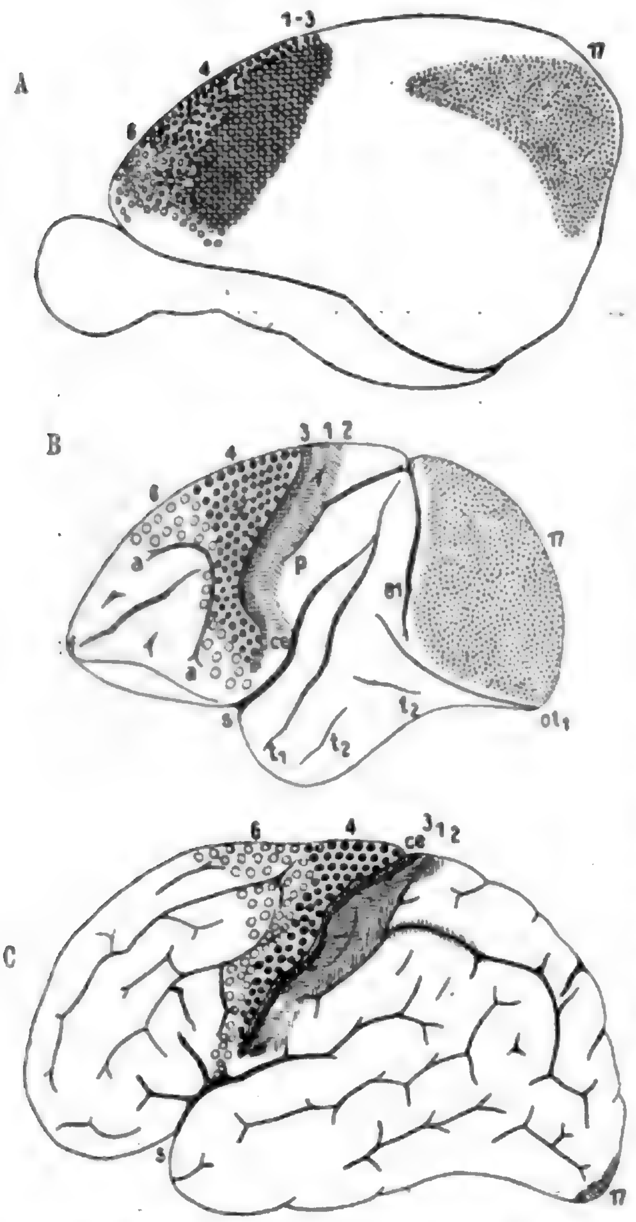


Fig. 24. Teil der Rindenfelderung auf der Außenfläche des Großhirns vom Kaninchen (A), Cercopithecus (B) und Mensch (C). ce Sulcus centralis, S Fissura Sylvii. 1 bis 3 Regio postcentralis, 4 und 6 Regio praecentralis, Feld 17 = Area striata. In B bedeutet 81 Sulcus simialis, a Sulcus arcuatus, ot_1 Sulc. occipito-temporalis, p Sulc. intraparietalis, t Sulc. temporalis. Nach Brodmann.

Das zentrale Nervensystem ist bei den Wirbeltieren in eine Skelettkapsel, das Rückgrat und die Schädelkapsel, eingebettet und wird innerhalb derselben durch bindegewebige **Hüllen** in seiner Lage erhalten und mit Nahrung versorgt. Ueberall finden wir an Gehirn und Rückenmark zwei solche Schutzhäute, die harte Haut, Dura mater, und die weiche oder Gefäßhaut, Pia mater. Erstere steht in Beziehung zum Periost der Skeletthülle und dient somit zur Befestigung; letztere ist reich mit Blutgefäßen versorgt, die in die Zentralorgane eindringen, und zwar reichlicher dort, wo sie an graue Substanz angrenzt. Beide Hüllen erfahren noch Differenzierungen. Im Wirbelkanal wird durch einen Lymphraum die Dura mater in 2 Lamellen gespalten, deren innere als Duralsack das Rückenmark schlauchartig umhüllt und so von den Verschiebungen der Wirbel gegeneinander unabhängig macht und vor Zerrungen schützt. In die äußeren Schichten der Pia mater sind zahlreiche Lymphspalten eingelagert, wodurch eine dünne Haut, die Spinnwebshaut oder Arachnoidea, abgetrennt wird, die sich zwischen Dura und Pia einschiebt und mit der Pia durch Bindegewebsbalken und Lamellen verbunden ist. Die Pia schmiegt sich dem Rückenmark und Gehirn dicht an, dringt in den ventralen Längsspalt des Rückenmarks, in die Falten des Cerebellum und die Furchen des Großhirns ein. An Stellen, wo die Ventrikelwand nur aus einer dünnen Haut besteht, wie am Dach der Rautengrube und des Zwischenhirns, legt sich ihr die Gefäßhaut dicht an, so daß sie selbst die Wand des Binnenraums zu bilden scheint (sogenannte Hirnschlitze, Telae chorioideae). An beiden Stellen kommt es zugleich zu Einstülpungen dieses gefäßreichen Daches in die Ventrikel, dort in den 4., hier in die Seitenventrikel (Abb. 21, 8), die als Adergeflechte (Plexus chorioidei) bezeichnet werden.

Besondere Nervenzentren kommen bei sehr vielen Tieren den Eingeweiden, speziell dem Darm zu; sie stehen mit dem zentralen Nervensystem zwar durch Faserzüge im Zusammenhang und erhalten von dort Anregungen und Hemmungen, besitzen aber doch eine große Selbständigkeit. Dies Eingeweidennervensystem wird als **sympathisches Nervensystem** bezeichnet. Schon bei den Coelenteraten finden sich im Epithel der Darmwand Neurone, über deren Verbindung mit dem übrigen Nervensystem freilich wenig bekannt ist. Bei den Ringelwürmern, Krebsen und Insekten sind Ganglien vor allem am Schlunde vorhanden, durch Konnektive mit dem Schlundring verbunden, und von ihnen gehen Nervenfasern und Nervennetze an den Darm und seine Anhänge. Auch bei den Mollusken ist ein solches Nervensystem in Gestalt von Buccalganglien und Ganglien des Subradularorgans vorhanden; bei den Tintenfischen kommt noch ein besonders, auf dem

Digitized by Google

Magen gelegenes Ganglion gastricum dazu, das auch die Verdauungsdrüse innerviert; dagegen wird bei den übrigen Mollusken der Darm nur vom Visceralganglion aus mit Nerven versorgt, welches zu den übrigen Ganglien des Zentralnervensystems in nahen Beziehungen steht und mit dem Pleuralganglion oft verschmolzen ist.

Der Sympathicus der Wirbeltiere besteht aus paarigen, segmental angeordneten Ganglien, die zu beiden Seiten der Wirbelsäule liegen. Ihre Neuroblasten stammen aus den Anlagen der Spinalganglien, und sie sind zeitlebens mit den spinalen Nerven durch Verbindungsäste (Rami communicantes) verbunden. Im Gegensatz zu den Nervenfasern des Spinalnervensystems haben die Nervenfasern des Sympathicus keine ausgesprochene dicke Markscheide; doch konnte eine zarte Myelinhülle an ihnen nachgewiesen werden. Bei vielen Wirbeltieren sind die Sympathicusganglien derselben Seite mit einander durch Nerven zu dem sogenannten Grenzstrang vereinigt; doch bei Cyclostomen und Selachiern fehlt diese Verbindung, erst von den Knochenfischen und Amphibien an kommt sie vor. Nach vorn erstreckt sich der Sympathicus bis in den Kopf und verbindet sich mit den Hirnnerven ebenso wie im Rumpf mit den Spinalnerven. Bei den Knochenfischen reicht er bis zum Trigeminus; von seinem vordersten Ganglion geht ein Ast zum Ganglion ciliare des Trigeminusgebietes. Von den Grenzstrangganglien gehen Nerven an den Darm, die übrigen Eingeweide und die Blutgefäße, wo sie zu Nervengeflechten mit eingestreuten kleinen Ganglien und zu Nervennetzen treten. Das Gebiet, das vom Sympathicus versorgt wird, fällt zum Teil mit demjenigen zusammen, zu dem die Fasern des Vagus gehen. Der Vagus sendet oft Fasern zu den sympathischen Nervengeflechten und dort, wo ein sympathischer Grenzstrang fehlt, stellt der Vagus durch Anastomosen mit den Spinalnerven indirekt die Verbindung zwischen den isolierten sympathischen Ganglien her und dient als Längskommissur. Die beiden Nervengebiete stehen in einem Wechselverhältnis derart, daß der Vagus sehr mächtig ist, wo der Sympathicus schwach entwickelt ist, wie bei Myxine und bei den Schlangen, und umgekehrt.

Literatur. **St. Apáthy**, *Das leitende Element des Nervensystems und seine topographischen Beziehungen zu den Zellen, in Mitteilungen aus d. zoolog. Station zu Neapel, 12. Bd. 1897, S. 495—748.* — **A. Bethe**, *Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems, Leipzig 1903.* — **K. Brodmann**, *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde auf Grund des Zellenbaues, Leipzig 1910.* — **L. Edinger**, *Vorlesungen über den Bau der nervösen Zentralorgane des Menschen und der Tiere, 7. Aufl., Leipzig 1908.* — **M. Heidenhain**, *Plasma und Zelle, 2. Lfg., Jena 1911.* — **H. Held**, *Die Entwickelung des Nervengewebes bei den Wirbeltieren, Leipzig 1909.* — **K. v. Kupffer**, *Die Morphogenie des Zentralnervensystems in O. Hertwigs Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwickelungslehre der Wirbeltiere, 2. Bd. 3. Teil, Jena 1906.* — **L. Neumayer**, *Histo- und Morphogenese des peripheren Nervensystems, der Spinalganglien und des Nervus sympathicus. Ebenda.* — **S. Ramon y Cajal**, *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés, Paris 1909.* — **G. Retzius**, *Biologische Untersuchungen, N. F. 1. Bd. 1890 und viele weitere.*

R. Hesse.

Nervensystem.

Allgemeine Physiologie des Nervensystems.

1. Bau und Funktion des Nervensystems: a) Bedeutung. b) Anatomischer Aufbau: α) Neuronentheorie. β) Neuronenformen. γ) Beziehungen der Neurone zueinander. δ) Nervennetze und Ganglien. c) Die chemische Zusammensetzung des Nervensystems: α) Wasser und Salzgehalt. β) Organische Bestandteile. 2. Die Lebensbedingungen des Nervensystems: a) Innere Lebensbedingungen. b) Außere Lebensbedingungen: α) Sauerstoff. β) Nahrung. γ) Wasser und Salzgehalt. δ) Temperatur. ε) Reize. 3. Die Reize: a) Definition des Reizes. b) Erregende und lähmende Wirkung der Reize. c) Arten der Reize. 4. Reizbeantwortung: a) Methoden der Untersuchung. b) Verschiedenheit in der Reizbeantwortung zwischen Zentralnervensystem und peripheren Nerven: α) Erregungsleitung: aa) Geschwindigkeit der Erregungsleitung im Nerven. bb) Das Verhältnis zwischen Erregung und Erregungsleitung. cc) Beziehung zwischen Reiz und Reizwirkung. Nernstsches Reizgesetz. dd) Polare Wirkung des konstanten Stroms auf den Nerven. ee) Elektrizitätsproduktion des Nerven. ff) Theorie der Erregungsleitung im Nerven. gg) Erregungsleitung im Zentralnervensystem. hh) Die Irreziprozität der Erregungsleitung im Zentralnervensystem: β) Dekrement der Erregung. γ) Summation. δ) Scheinbare Bahnung. ε) Tonus. ζ) Ermüdung. η) Hemmung. ϑ) Transformation. μ) Shock. c) Die Bedeutung der Reaktionsgeschwindigkeit für das Hervortreten der für das Zentralnervensystem charakteristischen Eigenschaften. d) Die Mechanismen, welche den Ablauf der Erregungen durch das Zentralnervensystem regeln: α) Die anatomischen Beziehungen. β) Das Prinzip der gemeinsamen Strecke. γ) Synergistische und antagonistische Reflexbögen. δ) Die Wiedererregung in der Peripherie: aa) Reflextonus. Reflexkrämpfe. bb) Reflexverkettung. cc) Rhythmische Reflexe. ε) Das Ausschleifen der Bahnen.

1. Bau und Funktion des Nervensystems. 1a) Die Bedeutung des Nervensystems. Das Nervensystem hat die Aufgabe, das Zusammenarbeiten der großen Zahl von Zellen, welche einen Organismus und seine Organe zusammensetzen, zu ver-

Digitized by Google

mitteln. Es dient der Koordination. Bei den einzelligen Lebewesen, den Protisten, und solchen Zellkolonien, welche aus einander gleichwertigen Zellen bestehen, haben sich bisher nervöse Zellelemente nicht mit Sicherheit nachweisen lassen. Jede dieser Zellen dient in gleicher Weise der Nahrungsaufnahme, der Verdauung, der Ausscheidung der nicht verwertbaren Nahrungsbestandteile; sie dient der Bewegung und Reizbeantwortung. Bei Zellkolonien, welche aus einander nicht gleichwertigen Zellen bestehen, begegnen wir schon chemisch und durch Farbstoffe differenzierbaren Zellen, welche ausschließlich der Reizbeantwortung und der Vermittelung des Zusammenarbeitens der Körperzellen dienen. Diese Zellen entwickeln sich aus der äußeren Zellschicht des Körpers, aus dem äußeren Keimblatt.

1b) Der anatomische Aufbau des Nervensystems. *α*) Die Neuronentheorie. Das Nervensystem besteht wie alle tierischen und pflanzlichen Gewebe aus Zellen. Bei den komplizierter gebauten Nervensystemen müssen wir jedoch zwei Arten von Zellen unterscheiden: die eigentlichen Nervenzellen oder Neurone, welche die nervösen Prozesse vermitteln, und die Bindegewebszellen oder Neurogliazellen, welche als Stützgewebe dienen. Beide lassen sich auch durch ihre Form und ihr Verhalten gegenüber Farbstoffen voneinander unterscheiden.

Ein Neuron zeigt mehrere Bestandteile, welche an allen Nervenzellen beobachtet werden können. Wir können unterscheiden den kernhaltigen Zelleib, von dem der lange Nervenfortsatz und eine Reihe in der Regel kürzerer Fortsätze, die Dendriten ausgehen. In der protoplasmatischen Grundsubstanz der Nervenzelle sehen wir zahlreiche Fasern, die Nervenfibrillen, eingelagert. Der Nervenfortsatz läßt an seinem Ende eine baumförmige Verzweigung, das Endbäumchen, erkennen. An den Enden der Verzweigungen wurden vielfach die sogenannten Endschlingen beobachtet.

Bei vielen Neuronen wird der Nervenfortsatz in einem späteren Stadium der Entwickelung mit einer Markscheide umgeben, welche aus einer den Fetten nahestehenden Substanz, dem Myelin, besteht, und von einer Membran, der Schwannschen Scheide, umgeben ist. Die Markscheide läßt in ihrem Verlauf Einschnürungen erkennen, die Ranvierschen Einschnürungen. Die Endbäumchen der Nerven besitzen keine Markscheide. Wir unterscheiden die Nerven, je nachdem sie eine Markscheide besitzen oder nicht, in markhaltige und marklose Nerven (s. Fig. 1).

Eine große Reihe von Forschern vertritt die Ansicht, daß das Neuron sich aus einer Zelle entwickelt, daß das Neuron des ausgewachsenen Tieres morphologisch einer Zelle entspricht, daß die einzelnen Teile eines Neurons in enger Abhängigkeit voneinander stehen, d. h. daß sie dauernd nur dann funktionieren können, wenn sie mit dem kernhaltigen Teil der Zelle in Verbindung stehen.

Fig. 1. Schematische Darstellung eines Neurons mit markhaltigen Nerven. Innerhalb des Zelleibes die Fibrillen und Nisslschen Schollen. Um den Nervenfortsatz die Markscheide mit Kernen und Ranviersche Einschürungen. Am Ende des Nerven die Endschlingen.

Waldeyer, der an Hand seiner eigenen Untersuchungen und der Ergebnisse von His und Ramon y Cajal diese Leitsätze der Neuronentheorie aufgestellt hat, vertrat auch den Standpunkt, daß die einzelnen Neurone nur durch Kontakt miteinander in Verbindung stehen. Die Neuronentheorie hat sich durch ihre einfache Darstellung der komplizierten Beziehungen der Zellelemente des Nervensystems in kurzer Zeit eine große Zahl von Anhängern erworben. Vielfach ist es auch versucht worden, einzelne ihrer Leitsätze zu modifizieren. Eine umfassende, aber keineswegs leicht lesbare Zusammenstellung dieser Bestrebungen hat Nißl in seinem Buch „Die Neuronentheorie" gegeben.

Die Neuronentheorie ist aber auch in ihren wichtigsten Sätzen intensiv bekämpft worden. Ihr wurde eine Theorie entgegengesetzt, welche vielfach als Zellkettentheorie bezeichnet wird. Zu dieser Theorie wurde der Grundstein durch die Entdeckung Schwanns gelegt, daß die

Digitized by Google

Nervenfaser eine Menge von Zellkernen besitzt. Es sollte das Neuron einerseits aus mehreren Zellen bestehen, andererseits sollten aber auch die einzelnen Neurone kontinuierlich ineinander übergehen (Apathy und Bethe). In ihren Grundzügen erscheint heute die Neuronentheorie gesicherter denn je. Durch die Untersuchungen von His, Ramon y Cajal, Held, durch die überaus interessanten Experimente von Harrison ist es als sichergestellt zu betrachten, daß bei der Entwickelung des Neurons die Nervenfortsätze aus den Nervenzellen auswachsen. Die von Schwann beobachteten Nervenkerne gehören den Belegzellen an, welche nur die Markscheiden der Nerven bilden.

Harrison gelang es, Teile eines embryonalen Nervensystems in Lymphtropfen längere Zeit am Leben zu erhalten, und das Auswachsen der Nervenfasern auch ohne Beteiligung der Belegzellen von Stunde zu Stunde zu beobachten.

Für die enge Zusammengehörigkeit von Nervenfortsatz und Nervenzelle sprechen auch die Erfahrungen über die Degeneration jener Nervenfortsätze, welche von ihrer Nervenzelle abgetrennt sind. Es steht diese Tatsache in Uebereinstimmung mit der allgemeinen Erfahrung, daß Zellbestandteile, welche vom kernhaltigen Teile der Zelle abgetrennt sind, nur noch kurze Zeit funktionieren können, dann aber zugrunde gehen. Die Regeneration eines nach der Durchschneidung degenerierten Nerven kann nur dann erfolgen, wenn von den Nervenzellen aus neue Nervenfortsätze in den Stumpf des durchschnittenen Nerven hineinwachsen.

Es scheint dagegen an Hand der ausgezeichneten mikroskopischen Präparate von Apathy und Bethe nicht zweifelhaft, daß die Fibrillen eines Neurons auf das andere kontinuierlich übergehen können. Nichtsdestoweniger zeigen zahllose Experimente, auf welche später bei Besprechung der Reizbeantwortungen des Nervensystems näher eingegangen werden soll, daß zwischen den einzelnen Neuronen eine physiologische Diskontinuität besteht. Es kommt dies wohl am schärfsten in der Synapsentheorie Sherrington's zum Ausdruck, welcher die Grenzfläche zwischen zwei Neuronen als Sitz der für das Zentralnervensystem charakteristischen Eigenschaften annimmt.

β) Die Neuronformen. Wenn wir die Ganglienzellen der verschiedenen Nervensysteme vergleichen, so tritt uns eine außerordentlich große Mannigfaltigkeit der Formen entgegen. Siehe darüber das Buch von Heidenhain „Plasma und Zelle".

Diese Mannigfaltigkeit läßt sich aber auf wenige Grundformen zurückführen, auf die monopolaren Ganglienzellen, die hauptsächlich im Nervensystem der Wirbeltiere vorkommen und auf die bipolaren Ganglienzellen des Nervensystems der Wirbellosen (s. Fig. 2). Bei den bipolaren Zellen entspricht der eine Fortsatz dem Dendriten, der zweite Fortsatz dem Nerven. Bei den sogenannten multipolaren Ganglienzellen ist es noch zweifelhaft, ob die vielen Fortsätze, welche man bei ihnen beobachten kann, nicht zum Teil den Dendriten entsprechen. Die Fortsätze der Nervenzellen sind verschiedenen Neuronen verschieden stark entwickelt. Wir können allgemein sagen, daß je komplizierter die Funktion eines Nervensystems ist und je mehr es in Anspruch genommen ist, desto stärker die Nervenfortsätze, insbesondere die Dendriten entwickelt sind. Dementsprechend weisen die Nervenzellen in einem frühen Stadium der Entwickelung verhältnismäßig nur wenige und kurze Fortsätze auf.

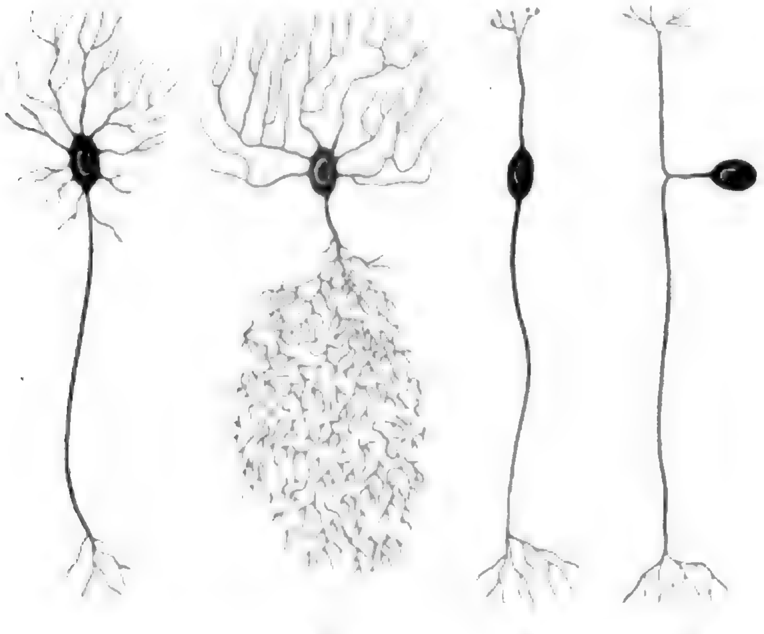


Fig. 2 zeigt verschiedene Typen von Nervenzellen. 1 eine monopolare Ganglienzelle aus dem Rückenmark, 2 eine monopolare Ganglienzelle aus dem Kleinhirn, 3 eine bipolare Ganglienzelle aus den Spinalganglion eines Fisches, 4 eine bipolare Ganglienzelle eines Weichtieres.

γ) Die Beziehungen der Neurone zueinander. Die einzelnen Neurone eines Nervensystems treten zueinander in einer ge-

setzmäßigen Weise in Beziehung. Es verbindet sich immer nur der Nervenfortsatz einer Zelle mit dem Dendriten einer anderen Ganglienzelle. Nie sehen wir die Dendriten zweier Ganglienzelleiber oder die Endbäumchen zweier Neurone sich miteinander verbinden (s. Fig. 3).

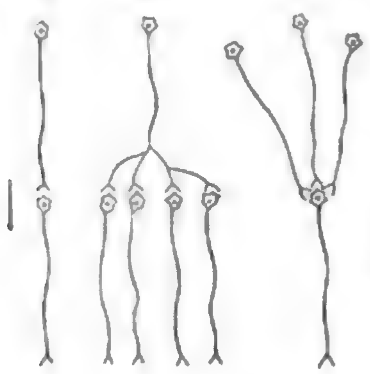


Fig. 3 zeigt die Beziehung in welches die Nervenzellen eines Nervensystems zueinander treten können. Die Erregung läuft nur in der Richtung des Pfeiles.

Die Anordnung der Neurone kann bei den einzelnen Nervensystemen höchst verschieden sein, wenn auch eine gewisse Grundanordnung immer vertreten ist. Von den sensibleu Aufnahmestellen gehen sensible Nervenfasern zu den Nervenzellen hin und von diesen führen Nervenfasern zu den Erfolgsorganen, den Muskeln und Drüsen.

Wir bezeichnen diese Verbindung von Nervenzellen als Reflexbogen. Derselbe kann auch aus einer größeren Anzahl von Nervenzellen bestehen, welche hintereinander geschaltet sind.

Die einfachste Form des Nervensystems finden wir bei den Coelenteraten. Die Figur 4 gibt schematisch ein Bild davon.

δ) Nervennetze und Ganglien. Bei der mikroskopischen Untersuchung an dem Nervensystem der Coelenteraten und anderer Wirbelloser und bei der Untersuchung des Nervensystems, das wir im Darm oder im Herzen der Wirbeltiere finden, können wir die Beobachtung machen, daß die Fortsätze der einzelnen Nervenzellen miteinander in Verbindung treten und ein Nervennetz bilden. Man findet vielfach die Anschauung vertreten, daß diese Nervennetze der Ausbreitung der Erregung über das ganze Nervensystem dienen; die neueren Untersuchungen haben jedoch gezeigt (Hofmann, Fröhlich), daß diese Annahme nicht zutrifft. Die Nervennetze dienen nur der Koordination eines engbegrenzten Abschnittes der Muskulatur, deren Fasern sich gerade bei den niederen Tieren an ein und derselben Körperstelle in den verschiedensten Richtungen durchkreuzen können.

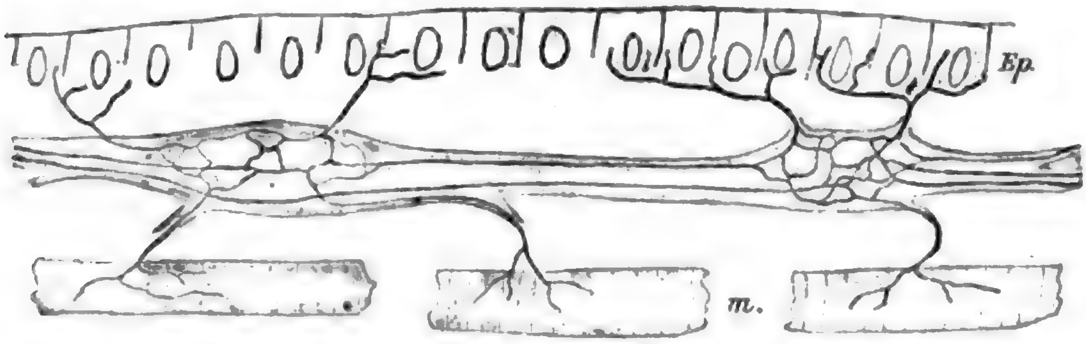


Fig. 4. Schematische Zeichnung der Anordnung der Nervenzellen bei den Medusen. m Muskeln, Ep Epithelzellen. Nach Bethe.

Der gleichzeitigen Innervation größerer Muskelgebiete dienen auch Neuronanordnungen, wie wir sie in den Ganglien des sympathischen Nervensystems finden. Wie Figur 3 B zeigt, tritt das Endbäumchen eines Nerven mit einer Reihe von Nervenzellen in Beziehung und kann die Erfolgsorgane derselben gleichzeitig in Erregung versetzen. Auch im Rückenmark kommt die Ausbreitung der Erregung in gleicher Weise zustande. Der Nervenfortsatz einer sensiblen Ganglienzelle tritt immer mit einer Reihe von motorischen Ganglienzellen in Verbindung.

Bei Tieren, deren einzelne Körperteile unabhängig voneinander reagieren, treten die Nervenzellen zu Anhäufungen, den Ganglien, zusammen. Die Ganglienzellen erhalten die Erregung vorzugsweise durch die Nervenfortsätze der Sinneszellen, der Rezeptionszellen, die im gleichen Körperabschnitt gelegen sind. Von den Ganglienzellen gehen die motorischen Nerven zu den Erfolgsorganen, den Muskeln und Drüsen. Dadurch, daß gesonderte Ganglien für verschiedene Abschnitte der Bewegungsmuskulatur und für verschiedene Abschnitte des Darmrohres auftreten, weisen diese Gebiete auf eine gewisse Unabhängigkeit voneinander auf, die besonders dann hervortritt, wenn wir ein solches Gebiet vom übrigen Tierkörper lostrennen.

Die Wirbellosen, bei denen das ganze Nervensystem aus isolierte Ganglien be-

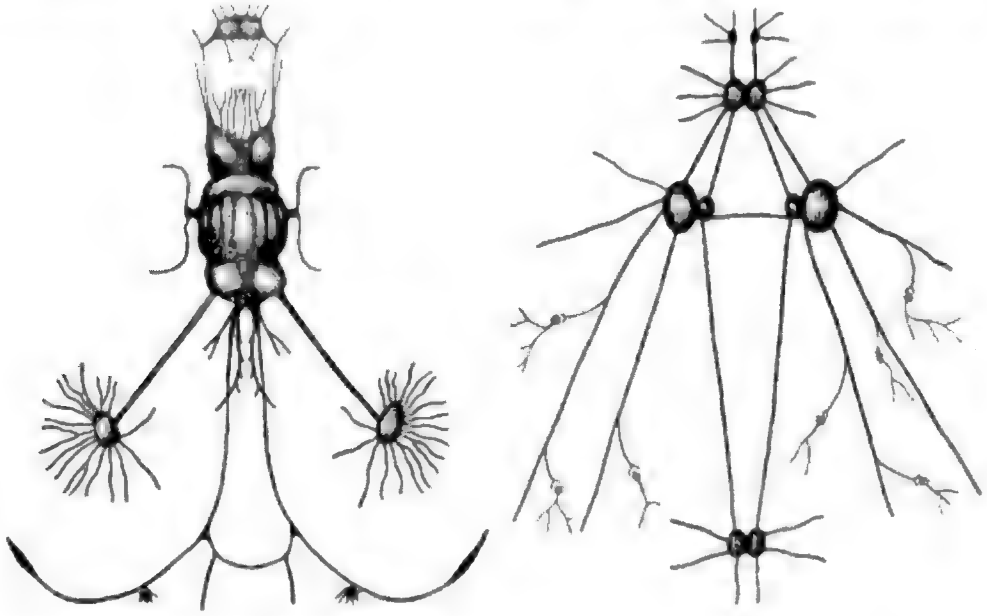
Digitized by Google

steht, besitzen auch Ganglien, welche die Aufgabe haben, ein gemeinsames Arbeiten der verschiedenen Ganglien zu vermitteln. Diese Ganglien sind zwischen die Sinnesorgane und die motorischen Ganglienzellen eingeschaltet. Sie dienen der Ausbreitung der Erregung über größere Abschnitte des Körpers, der Koordination der verschiedenen Ganglien, deren Zusammenarbeiten für die Fortbewegung der Tiere von Bedeutung ist. Wegen der engen Beziehung zu den Sinneszellen werden sie als sensible bezeichnet, während die direkt mit Erfolgsorganen in Beziehung stehenden Ganglien motorische Ganglien genannt werden. Sensible und motorische Ganglien unterscheiden sich auch durch ihre charakteristische Reaktion auf Strychnin und Carbolsäure. Strychnin steigert die Erregbarkeit der sensiblen, Carbolsäure die der motorischen Ganglien. Diese Anordnung in sensible und motorische Ganglien läßt sich, wie Baglioni gezeigt hat, bei den Nervensystemen der Würmer, der Weichtiere, der Gliedertiere und Wirbeltiere nachweisen. Es ist mehr als wahrscheinlich, daß diese Anordnung auch bei den Stachelhäutern vorhanden ist. Bei den Würmern, Weichtieren und Gliedertieren liegen die sensiblen Mechanismen in den oberen Schlundganglien (Hirnganglien), bei den Wirbeltieren in bestimmten Abschnitten des Rückenmarks, verlängerten Marks und Großhirns. Die motorischen Mechanismen liegen bei den Würmern und Gliedertieren in den Ganglien des Bauchstranges, bei den Weichtieren in den Mantel- und Visceralganglien; bei den Wirbeltieren in den Zellen der Vorderhörner des Rückenmarks, des verlängerten Marks und des Kleinhirns.

Bei den niederen Tieren liegen die Ganglien noch im ganzen Körper verstreut und sind durch lange Nervenstränge (Konnektive) miteinander verbunden. Bei einer Reihe von wirbellosen Tieren und bei den Nervensystemen der Wirbeltiere treten die Ganglien zu größeren Komplexen zusammen. Wie durch das Zusammentreten mehrerer Ganglien ein kompliziertere, höheren Anforderungen entsprechendes Nervensystem entstehen kann, zeigen am besten die vielgestalteten Nervensysteme der Weichtiere. Dies wird deutlich, wenn wir z. B. das Nervensystem der Aplysien, einer Art von Meeresschnecken, mit dem der Tintenschnecken vergleichen (s. Fig. 5). Der schon als Hirn bezeichnete Abschnitt des Tintenschneckennervensystems repräsentiert eine weitgehende Zentralisation der nervösen Funktionen. Wir sprechen in solchen Fällen von einem Zentralnervensystem, das vorzugsweise aus Ganglienzellen besteht, im Gegensatz zum peripheren Nervensystem, das von den sensiblen und motorischen Nerven gebildet wird.

1c) Die chemische Zusammensetzung des Nervensystems. Unsere Kenntnis vom chemischen Aufbau des Nervensystems sind recht mangelhaft, da es große Schwierigkeiten bereitet, die verschiedenen Zellelemente, welche das Nervensystem zusammensetzen, mechanisch zu isolieren. Wir müssen uns auf wenige Daten beschränken, welche für die allgemeine Physiologie des Zentralnervensystems von Bedeutung sind.

α) Wasser und Salzgehalt. Das Nervensystem besteht zu 70 bis 90% aus Wasser. Der Wassergehalt der Nervensysteme niedrigerer Tiere kann höher sein.



A B

Fig. 5. Schematische Darstellung des Nervensystems zweier Meeresschnecken. A. Eledone, B. Aplysia.

Er ist verhältnismäßig auch höher bei embryonalen Nervensystemen. Die Mineralstoffe sind in einer Menge von 0,2 bis 0,7‰ vertreten. Es sind vorzugsweise Chloride, Phosphate, Carbonate, Sulfate des Ca, Mg, K, Na.

β) Organische Bestandteile. An organischen Bestandteilen enthält das Nervensystem wie jede lebendige Substanz Eiweißkörper von Albumin- und Globulincharakter. Unter den zusammengesetzten Eiweißkörpern sind die wichtigsten die Nucleoproteine, welche bei der Aufspaltung in einen Eiweißkörper und eine Nucleinsäure zerfallen. In größeren Mengen sind die Lipoide vertreten, Stoffe, welche den Fetten sehr nahe stehen. Sie sind Ester, welche Phosphorsäure und Fettsäureradikale enthalten. Die Lipoide sind chemisch nicht leicht zu charakterisieren, sie sind meistens in denselben Lösungsmitteln löslich, wie die Fette; sie sind sehr leicht oxydabel und schon aus diesem Grunde schwer darzustellen. Zu ihnen gehören die Gehirnphosphatide, Lezithine, das Cholesterin, Protagen, die Zerebroside und Zerebrine, das Enkephalin usf.

Den Lipoiden kommt in verschiedener Beziehung eine große Bedeutung zu. Sie spielen infolge ihrer leichten Oxydierbarkeit im Energiewechsel der lebendigen Substanz eine wichtige Rolle. Die oxydativen Vorgänge sind für das Geschehen im Nervensystem wichtig. Das erkennen wir in erster Linie aus der großen Abhängigkeit der nervösen Prozesse von der Sauerstoff- bezw. Blutzufuhr. Eine Reihe von Experimenten sprechen auch dafür, daß die Geschwindigkeit der nervösen Prozesse verschiedener Nervensysteme in naher Beziehung zur Beteiligung der oxydativen Spaltungen im Energie- und Stoffwechsel stehe. Je mehr die oxydativen Prozesse in den Vordergrund treten, um so größer scheint die Reaktionsgeschwindigkeit der nervösen Prozesse zu sein (Fröhlich).

Von großer Bedeutung ist die Membranfunktion der Lipoide. Nernst konnte zeigen, daß die Durchlässigkeit einer Membran für einen bestimmten Stoff, wesentlich von dem Lösungsvermögen der Membran für den Stoff abhängt. Overton und Meyer haben im Anschluß an diese Untersuchungen darauf aufmerksam gemacht, daß die lebenden Zellen für Stoffe nur wenig durchgängig sind, welche sich im Wasser leicht lösen, daß dagegen Stoffe, welche in Fetten oder Lipoiden gut löslich sind, leicht in die Zellen eindringen. Darauf ist es zurückzuführen, daß die Reihe von Stoffen, welche wir gewöhnlich als Narkotika bezeichnen und welche besonders leicht in den Lipoiden löslich sind, so stark auf das Nervensystem wirken.

2. Die Lebensbedingungen des Nervensystems. Soll ein Nervensystem funktionieren, so müssen eine Reihe von Bedingungen erfüllt sein. Die Gesamtheit dieser Bedingungen bezeichnen wir als Lebensbedingungen und unterscheiden die inneren Lebensbedingungen von den äußeren.

2a) Innere Lebensbedingungen. Die inneren Lebensbedingungen sind in der lebendigen Substanz selbst gelegen. Sowohl der morphologische als auch der chemische Aufbau der lebendigen Substanz der Neurone muß so sein, daß die von außen zugeführten kinetischen und potentiellen Energien im Stoff- und Energiewechsel in jenen Komplex von Energieformen umgewandelt werden können, welchen wir als nervösen Erregungsvorgang bezeichnen.

Zu den inneren Lebensbedingungen gehört das wichtige Verhältnis von Kern und Plasma. Ohne den kernhaltigen Teil der Ganglienzelle geht das Neuron zugrunde. Wir haben diese Tatsache schon oben bei Besprechung der Degeneration der vom Nervenzelleib abgetrennten Nervenfortsätze kennen gelernt. Wie aber der abgetrennte Nervenfortsatz noch einige Zeit funktionieren kann, so kann auch die Nervenzelle ohne Kern noch einige Zeit die Erregungsvorgänge vermitteln. Dies hat der interessante Versuch Bethes am Carcinus maenus gezeigt. Bethe gelang es bei diesem Krebs, den kernhaltigen Teil der Ganglienzellen, welche die Antennen innervieren, zu entfernen. Die Antennenbewegungen blieben noch einige Stunden erhalten, um dann allmählich zu verschwinden.

Zu den äußeren Lebensbedingungen gehören der Sauerstoff, das Wasser und die Salze, die Temperatur und die Reize, welche entweder das Nervensystem direkt treffen oder ihm in Form der Nervenerregungen von den Sinnesorganen durch die sensiblen Nerven oder durch die Nerven anderer Neurone zugeführt werden.

2b) Aeußere Lebensbedingungen. *α*) Sauerstoff. Der Sauerstoff stellt eine wichtige Lebensbedingung für alle Nervensysteme dar. Seine Bedeutung macht sich vorwiegend in zwei Richtungen geltend: einerseits wird durch die oxydativen Spaltungen, die mit großer Geschwindigkeit und Intensität verlaufen, im Energiewechsel der lebendigen Substanz eine große Menge potentieller, meist chemischer Energie in kinetische Energie verwandelt; andererseits werden durch den Sauerstoff eine Reihe von Stoffwechselprodukten, welche für das Nervensystem schädlich sind, verbrannt und in eine lösliche, leicht durch das Blut abtransportierbare Form übergeführt. Der Sauerstoff wird in seiner Wirkung durch

Digitized by Google

eine Reihe von Fermenten unterstützt, welche wir in die Gruppe der Oxydasen, Peroxydasen und Katalasen einreihen. Da die oxydativen Spaltungen zu jenen energieliefernden Prozessen gehören, welche mit größter Geschwindigkeit ablaufen, so sind sie von großer Wichtigkeit für die bedeutenden Geschwindigkeiten der Erregungsvorgänge, wie wir sie besonders an den Nervensystemen beobachten. Es gibt auch Nervensysteme, die eine geringere Abhängigkeit vom Sauerstoff erkennen lassen. Tiere, welche, wie z. B. einige Würmer und Schnecken, Nervensysteme mit geringem Sauerstoffbedürfnis besitzen, sind durch die langsame Erregungsleitung innerhalb ihrer Nervensysteme und durch die Langsamkeit ihrer Reizbeantwortung charakterisiert.

Wenn wir die Abhängigkeit der Nervensysteme vom Sauerstoff untersuchen, so fällt ein bedeutsamer Unterschied im Verhalten des Zentralnervensystems oder der Ganglien und der peripheren Nerven auf. Das Zentralnervensystem weist, wie insbesondere die Untersuchungen von Verworn und seiner Schule und Baglioni gezeigt haben, bei allen Tieren ein weit größeres Sauerstoffbedürfnis auf als die peripheren Nerven. Der Unterschied im Sauerstoffbedürfnis zwischen zentralem und peripherem Nervensystem tritt uns schon entgegen, wenn wir die Blutzirkulation aufheben und dadurch verhindern, daß neuer Sauerstoff den Nerven zugeführt wird. Das Zentralnervensystem verliert seine Erregbarkeit weit früher als der Nerv. Das Zentralnervensystem der warmblütigen Tiere erstickt weit früher als das der kaltblütigen Tiere. Das Nervensystem der Kaltblüter erstickt bei höherer Temperatur schneller als bei niedriger Temperatur. Ein Nervensystem erstickt auch früher, wenn seine Erregungsvorgänge durch Reize gesteigert werden. Kurz gesagt, ein Nervensystem erstickt um so früher, je intensiver in ihm die Erregungsvorgänge ablaufen. Für das Studium des Sauerstoffbedürfnisses des Zentralnervensystems eignet sich namentlich die von Verworn angegebene Durchspülungsmethode, während für die gleichen Untersuchungen am Nerven sich besser das Einbringen des Nerven in indifferente Gase eignet. Doch ist in einzelnen Fällen mit gutem Erfolg eine Erstickung des Zentralnervensystems in indifferenten Gasen möglich, ebenso wie man beim Nerven die Durchspülung mit sauerstoffreichen indifferenten Flüssigkeiten anwenden kann. Verworn hat für die Untersuchungen am Zentralnervensystem einen Durchspülungsapparat angegeben, welcher es ermöglicht, eine indifferente sauerstofffreie Lösung rhythmisch durch die Blutgefäße zu treiben. Ein Froschnervensystem, das von sauerstofffreier indifferenter Kochsalzlösung[1]) umspült wird, verliert etwa in einer Stunde seine Erregbarkeit; erhält dieselbe aber in kurzer Zeit wieder, wenn ihm eine sauerstoffhaltige physiologische Kochsalzlösung zugeführt wird. Der Nerv verliert unter den gleichen Bedingungen seine Erregbarkeit erst in drei bis vier Stunden. Bei Sauerstoffzufuhr erholt sich der Nerv fast momentan. Es ist allerings nicht möglich, die Verwornsche Methode bei allen Nervensystemen anzuwenden. Die Nervensysteme der Warmblüter leiden zu sehr unter der Einwirkung der sogenannten indifferenten Lösungen. Nur am Nerven der Winterschläfer und am Zentralnervensystem der Embryonen warmblütiger Tiere ist diese Methode mit günstigem Erfolge angewendet worden.

Ebenso wie wir Nervensysteme von verschieden großem Sauerstoffbedürfnis kennen, so können auch verschiedene Ganglien des gleichen Nervensystems ein verschieden grosses Sauerstoffbedürfnis zeigen. Die Ganglienzellen der Großhirnrinde ersticken beim warmblütigen Tier schneller als die Ganglienzellen des verlängerten Markes. Die Ganglienzellen des verlängerten Markes ersticken früher als die Ganglienzellen des Rückenmarkes. Bei Sauerstoffmangel verschwindet das Bewußtsein zuerst, bezw. die durch das Großhirn vermittelten Reaktionen, dann erst verschwinden die Atembewegungen, welche durch die Ganglienzellen des verlängerten Markes vermittelt werden. Erst am Schluß hört das Rückenmark auf, Erregungen zu leiten. Baglioni hat es wahrscheinlich gemacht, daß die sensiblen Ganglien des Rückenmarkes ein größeres Sauerstoffbedürfnis haben als die motorischen Ganglien. Noch weit geringer ist das Sauerstoffbedürfnis der Ganglien des sympathischen Nervensystems.

Durch den Sauerstoffmangel wird das Nervensystem gelähmt; doch scheint bei vielen der Lähmungen eine heftige Erregung vorauszugehen, die besonders bei den warmblütigen Tieren hervortritt. Es kommt zu einer Beschleunigung und Vertiefung der Atmung (Dyspnoe), und zum Auftreten der Tenner-Kußmaulschen Krämpfe, dann erst setzt die Lähmung durch den Sauerstoffmangel ein. Auch die Nervensysteme kaltblütiger Tiere ersticken unter heftigen Erregungserscheinungen, wenn ihre Körpertemperatur wesentlich erhöht worden ist. Man hat vielfach die Annahme ausgesprochen, daß diese Erregungszustände durch Stoffwechselprodukte herbeigeführt werden, welche bei der Erstickung entstehen und die Erregbarkeit

[1]) 0,6% Kochsalzlösung.

Digitized by Google

der Nervenzellen steigern. Nach dem heutigen Stande unseres Wissens ist es jedoch viel wahrscheinlicher, daß wir in diesen Erregungszuständen nur eine scheinbare Erregbarkeitssteigerung vor uns haben. Solche scheinbare Erregbarkeitssteigerungen finden wir bei sehr vielen Formen lebendiger Substanz. Sie werden weiter unten bei Besprechung der Summation von Reizen und der scheinbaren Bahnung eingehend erörtert werden. Sie kommen dadurch zustande, daß am erstickenden Nervensystem die Erregungsvorgänge wesentlich langsamer ablaufen und dadurch die Summationsfähigkeit für Reize gesteigert ist. Ganz wie der Sauerstoffmangel wirkt die Narkose auf die Ganglienzellen. Dies kann uns nicht wundern, denn wir wissen durch die Untersuchungen von Verworn und seiner Schule, daß die Narkose in einer Lähmung des Sauerstoffwechsels beruht.

Entsprechend dem hohen Sauerstoffbedürfnis der nervösen Zentren werden sie auch besonders reich mit Blut versorgt. Das Zentralnervensystem gehört zu den Organen mit der besten Blutversorgung. Bei Tieren ohne Blutgefäße liegt das Nervensystem in der äußeren Zellschicht des Körpers und tritt dadurch direkt mit dem Sauerstoff des umgebenden Mediums in Beziehung. Dies ist z. B. bei den Medusen der Fall. Bei den Gliedertieren dienen die den ganzen Körper durchsetzenden Luftkanälchen (Tracheen) der Sauerstoffversorgung. Bei einzelnen Würmern findet sich in den Ganglienzellen ein Farbstoff, der ähnlich wie der Blutfarbstoff die Eigenschaft hat, Sauerstoff in größerer Menge in leicht dissoziierbarer Form zu binden.

β) Nahrung. Als Nahrungsstoffe für das Nervensystem kommen alle jene Stoffe in Betracht, welche durch das Blut zu ihm hintransportiert werden. Doch kommt offenbar den Fetten und Lipoiden eine besondere Bedeutung auch als Nährstoff der Nervenzelle zu.

In den meisten Ganglienzellen läßt sich eine schollige Ablagerung durch Färbung mit basischen Anilinfarben nachweisen, die Nißlschen Schollen (Fig. 1). Früher wurden dieselben ausschließlich als Reservematerial angesehen, während ihnen nach den neueren Untersuchungen auch eine Funktion zukommt, die in mancher Beziehung der des Zellkernes vollkommen entspricht, sie werden jetzt zu den weit verbreiteten Zellbestandteilen, den Chromidien, gerechnet. Ihre Wechselbeziehung zu dem Protoplasma der Nervenzellen scheint von großer Bedeutung.

Die Abhängigkeit der Nervenzellen von der Nahrungszufuhr ist bei weitem nicht so groß wie die Abhängigkeit von der Zufuhr des Sauerstoffes. Ein mit indifferenter sauerstoffhaltiger Lösung durchspültes Rückenmark kann selbst 10 Stunden funktionsfähig bleiben. Interessant sind die Ergebnisse der Hungerversuche. Im Hungerzustande verliert das Zentralnervensystem nur wenig an Gewicht, während andere Organe, wie z. B. die Muskeln und die Fettzellen, bedeutend an Gewicht einbüßen. Nach v. Voit verloren die Muskeln eines verhungerten Katers 40,0%, die Milz 66,7%, die Leber 53,7%, Fett 97%, ihres ursprünglichen Gewichtes, während das Nervensystem nur einen Verlust von 3,2% des ursprünglichen Gewichtes aufwies. Man kann diese Beobachtung nur dahin deuten, daß das Nervensystem auf Kosten der eingeschmolzenen Bestandteile anderer Organe lebt.

γ) Wasser und Salzgehalt. Das Wasser und die Salze sind überaus wichtige Bestandteile des Nervensystems. Ueber die Abhängigkeit der Funktion des Zentralnervensystems vom Wassergehalt liegen nur spärliche Angaben vor. Bei steigendem Wassergehalt nimmt die Erregbarkeit des Zentralnervensystems ab, bei sinkendem Wassergehalt bis zu einer gewissen Grenze nimmt sie zu. Diese Erregbarkeitssteigerung kann soweit gehen, daß die von dem Nervensystem innervierten Muskeln in langandauernde Krämpfe verfallen.

Ueber die Bedeutung des Wasser- und Salzgehaltes für die Nerven liegen eingehende Untersuchungen insbesondere von Overton vor.

Es war schon lange bekannt, daß der vertrocknende Nerv in langandauernde Erregungszustände verfällt, die sich in tetanischen oder rhythmischen Verkürzungen der Muskeln äußern, durch Wasserzufuhr kann man diese Muskelkrämpfe wieder zum Verschwinden bringen. Wird durch Einlegen der Nerven in destilliertes Wasser der Wassergehalt der Nerven gesteigert, so nimmt seine Erregbarkeit ab. Dieser Erregbarkeitsverlust kann aber auch darauf zurückgeführt werden, daß der Nerv an lebenswichtigen Salzen verarmt.

In dieser Beziehung konnte Overton zeigen, daß der Nerv in reiner isosmotischer Rohrzuckerlösung seine Erregbarkeit verliert. Daß aber ein geringfügiger Zusatz von Chlornatrium die Erregbarkeit der Nerven wieder herstellt. Es ist also das Chlornatrium für die Funktion der Nerven unbedingt notwendig.

Die Kaliumsalze haben eine lähmende Wirkung auf den Nerven. Nach den Angaben Overtons scheint der Nerv gegenüber Elektrolyten das gleiche Verhalten

Digitized by Google

wie der Muskel zu zeigen, es sei daher auf den entsprechenden Abschnitt des Artikels über die allgemeine Muskelphysiologie hingewiesen.

δ) Temperatur. Zu den äußeren Lebensbedingungen gehört auch eine Temperatur innerhalb gewisser Grenzen. Steigerung der Temperatur hat eine Beschleunigung, Erniedrigung eine Verlangsamung der Erregungsvorgänge im Nervensystem zur Folge. Natürlicherweise sind die Temperaturgrenzen sowohl nach oben wie nach unten hin für das Nervensystem ebenso wie für jede andere Form der lebendigen Substanz enge begrenzt, nach unten durch die Temperatur, bei welcher ein Gefrieren des in dem Nervensystem enthaltenen Wassers und damit eine Zerstörung der lebendigen Substanz eintritt, nach oben durch jene Temperaturen, bei welchen eine Wärmelähmung oder der Wärmetod des Nervensystems eintritt. Diese Temperaturen liegen beim Nervensystem der warmblütigen Tiere bei etwa 45 bis 50° C, während sie bei kaltblütigen Tieren wesentlich niedriger liegen. Die Wärmelähmung unterscheidet sich vom Wärmetod dadurch, daß nach der Wärmelähmung durch Abkühlen eine Wiederkehr der Funktion des Nervensystems möglich ist. Die Wärmelähmung kommt, wie die Untersuchungen von Winterstein gezeigt haben, durch eine Erstickung zustande. Die Stoffwechselvorgänge sind durch die erhöhte Temperatur so gesteigert, daß der zur Verfügung stehende Sauerstoff nicht genügt. Wenn wir durch Erwärmen eines Nervensystems seine Wärmelähmung herbeigeführt haben und es unter Ausschluß von Sauerstoff abkühlen, tritt keine Erholung ein. Diese erfolgt erst, wenn wir neuen Sauerstoff zuführen. Der Wärmetod dagegen geht mit einer tiefgehenden Veränderung der lebendigen Substanz des Nervensystems einher. In erster Linie sind wohl die Eiweißkörper des Protoplasmas zur Gerinnung gebracht worden.

Die Abkühlung des Nervensystems verlangsamt die Lebensvorgänge. Nichtsdestoweniger können wir in vielen Fällen beobachten, daß das abgekühlte Nervensystem auf die Einwirkungen der Außenwelt besser und kräftiger reagiert. So sind z. B. die Nervensysteme von Kaltfröschen, die längere Zeit niederen Temperaturen ausgesetzt waren, für viele Experimente geeigneter, als die Nervensysteme von Warmfröschen. Dies hat seinen Grund zum Teil darin, daß bei niederer Temperatur das Sauerstoffbedürfnis ein geringeres ist, zum Teil aber tritt am abgekühlten Rückenmark infolge der Verlangsamung der Lebensvorgänge eine gesteigerte Summationsfähigkeit hervor, die wir dann weiter unten bei Besprechung der scheinbaren Erregbarkeitssteigerungen und scheinbaren Bahnungen näher kennen lernen werden. So befindet sich ein Nervensystem weder bei zu hoher noch bei zu niedriger Temperatur unter günstigen Bedingungen. Die optimale Temperatur ist jene, bei welcher einerseits die Sauerstoffversorgung den Anforderungen genügt, andererseits aber die durch das Nervensystem vermittelten Reaktionen mit einer für das Leben des Tieres richtigen Geschwindigkeit verlaufen. Ein Winterfrosch, der sich längere Zeit bei einer Temperatur um 0° befunden hat, weist so langsame Bewegungen auf, daß er sich nur schwer der Verfolgung seiner Feinde entziehen kann. Die optimale Temperatur liegt beim Frosch etwa bei 19°, beim Menschen zwischen 36 und 37°. Beim Warmblüter ist durch die Wärmeregulation ein äußerst feiner Mechanismus geschaffen, welcher der Erhaltung dieser optimalen Temperatur dient.

ε) Reize. Eine überaus wichtige Bedingung für das Funktionieren eines Nervensystems sind die Reize, welche das Nervensystem teils direkt treffen, teils von den Sinnesorganen her durch die sensiblen Nerven zugeleitet werden. Ohne diese Reize entwickelt sich ein Nervensystem nicht oder wenn es schon entwickelt ist, stellt es bei Fehlen der Reize seine Funktionen ein und entartet. Wird dagegen ein Nervensystem häufig in Anspruch genommen, so entwickelt es sich kräftig. Wir begegnen bei den Nervenzellen derselben Erscheinung wie bei allen Formen lebender Substanz, daß sie bei starker Inanspruchnahme eine Massenzunahme, eine Arbeitshypertrophie, bei fehlender oder geringer Inanspruchnahme eine Massenabnahme, eine Inaktivitätsatrophie, erfahren.

Verworn, der auf diese Verhältnisse mit besonderem Nachdruck hingewiesen hat, setzte dieselben in nahe Beziehung zu dem Ausschleifen gewisser nervöser Bahnen bei häufiger Inanspruchnahme. Er brachte sie in Beziehung zur Gedächtnisfunktion des Nervensystems. Wir werden diese Verhältnisse eingehender behandeln, wenn wir die Faktoren besprechen werden, welche das Zusammenarbeiten mehrerer Abschnitte eines Nervensystems beherrschen.

3. Die Reize. 3a) Definition des Reizes. Als Reiz definiert Verworn jede Veränderung in den Lebensbedingungen. Es kommen als Reize für das Nervensystem in Betracht Aenderungen im chemischen Milieu, das sind Aenderungen im Wasser-, Salz-, Sauerstoff- und Nahrungsgehalt, und Aenderungen der Zufuhr kinetischer Energie in Form elektrischer, mechanischer und thermi-

Digitized by Google

scher Energie, welche die Lebensbedingungen ändern, gleichzeitig aber, wie wir oben gehört haben, an sich eine wichtige Lebensbedingung vorstellen.

3b) Erregende und lähmende Wirkung der Reize. Die Wirkung der Reize kann sich in zwei Richtungen äußern. Die Reize rufen entweder eine Beschleunigung und Intensitätszunahme der Lebensvorgänge, eine Erregung hervor, oder sie verlangsamen und verringern die Lebensvorgänge, sie veranlassen eine Lähmung. Wir teilen demnach die Reize ein in erregende und lähmende. Die Fähigkeit einer lebendigen Substanz auf Reize mit einer Beschleunigung ihrer Lebensvorgänge zu reagieren, bezeichnen wir als Erregbarkeit. Die Höhe der Erregbarkeit können wir durch die Reizstärke ausdrücken, welche eben eine Erregung hervorzurufen imstande ist. Bei dieser eben wirksamen Reizstärke liegt die Reizschwelle der lebenden Substanz. Die durch das Zentralnervensystem geleiteten Erregungen werden auch als Reflexerregungen, die durch sie ausgelösten Aktionen der Erfolgsorgane als Reflexe bezeichnet.

3c) Arten der Reize. Von den Reizen, welche das Nervensystem treffen, kommen in erster Linie die chemischen Reize in Betracht, welche dem Nervensystem auf dem Wege der Blutbahn zugeführt werden und die Erregbarkeit für die zweite Art von Reizen steigert oder herabsetzt, welche dem Nervensystem durch die sensiblen Nerven von den Sinnesorganen in Form von Erregungen zugeleitet werden. Für das Experiment sind auch thermische, chemische und elektrische Reize wichtig, welche auf die sensiblen Nerven oder auf das Zentralnervensystem direkt einwirken. Namentlich die elektrischen Reize spielen im Experiment eine wichtige Rolle, da sich ihre Intensität und Dauer leicht abstufen läßt.

4. Die Reizbeantwortung. 4a) Methoden der Untersuchung. Wenn wir die Reaktion eines Nervensystems auf einen Reiz studieren wollen, so können wir uns verschiedener Methoden bedienen. Wir können entweder die Stoffwechselvorgänge in den nervösen Zentren und ihren Nerven als Indikatoren der sich in ihnen abspielenden Erregungsvorgänge verwenden, oder wir können aus der Beobachtung der Tätigkeit der Erfolgsorgane Rückschlüsse auf die Erregungsvorgänge im Nervensystem ziehen. Ueber die Stoffwechselvorgänge liegen nur spärliche Angaben vor, da derartige Untersuchungen mit methodischen Schwierigkeiten zu kämpfen haben. Es sind Mikrorespirometer (Thunberg) notwendig, die es ermöglichen, den geringen Gasstoffwechsel des aus seinem Verbande gelösten Nervensystems zu studieren. Der Sauerstoffverbrauch des Froschrückenmarkes beträgt per Stunde und Gramm nach Winterstein 200 bis 300 mm³, während der Sauerstoffverbrauch beim Nerven bei gleicher Temperatur per Stunde und Gramm 20 bis 60 mm³ beträgt (Buytendick).

Wie die Untersuchungen von Buytendick ferner gezeigt haben, nimmt bei der Reizung des Zentralnervensystems die Intensität des Sauerstoffverbrauches zu. Beim peripheren Nerven konnte eine Steigerung während der Reizung mit Sicherheit nicht nachgewiesen werden. Während derartige Untersuchungen nur einen geringen Einblick in das Geschehen im Nervensystem ermöglichen, hat uns die Beobachtung der Tätigkeit der vom Zentralnervensystem innervierten Organe eine große Menge wichtiger Tatsachen kennen gelehrt. Man kann einfach die Bewegungen eines gereizten Tieres beobachten, man kann gewisse Nervenzentren verletzen und dann die Bewegungen des in gleicher Weise gereizten Tieres studieren. Einen tieferen Einblick können wir in vielen Fällen gewinnen, wenn wir statt der subjektiven Beobachtung die objektive Darstellung der Reizbewegungen verwenden. Wir können das dadurch erreichen, daß wir das bewegte Glied des Tieres mit einem Schreibhebel verbinden und die Bewegungen desselben auf der rotierenden Trommel eines Cymographions aufzeichnen lassen,[1]) oder wir können einzelne Muskeln von ihren Ansatzstellen an den Knochen loslösen und die Bewegung eines oder mehrerer Muskeln gleichzeitig registrieren. Statt der Bewegungen der Muskeln können wir auch ihre Aktionsströme zum Studium der Reizbeantwortungen verwenden.[2]) Mit gleichem Erfolg wie die Muskeln können wir auch die Drüsen, insbesondere einige Verdauungsdrüsen, zum Studium des Nervensystems heranziehen. Auf diese Möglichkeit wurde durch eine große Reihe wichtiger Untersuchungen aus dem Pawlowschen Laboratorium hingewiesen. Namentlich die Beobachtung der Tätigkeit der Speicheldrüse gestattet uns tiefer in den Mechanismus der experimentell schwer zugänglichen Vorgänge des Großhirns der Tiere einzudringen. Mit diesen Methoden sind aber die Untersuchungsmöglichkeiten keineswegs erschöpft. Statt der Tätigkeit der Muskeln und Drüsen können wir für die Beantwortung vieler Fragen die Elektrizitätsproduktion der Nerven verwenden. Es hat diese Methode

---

[1]) Siehe den Abschnitt über graphische Registrierung im Artikel „Muskeln: Allgemeine Physiologie der Muskeln".

[2]) Siehe den Artikel „Elektrizitätsproduktion".

Digitized by Google

den Vorteil, daß wir aus unserer Versuchsanordnung den veränderlichen Muskel und die noch mehr veränderliche Uebergangsstelle vom Nerven zum Muskel ausschalten können.

Statt der Sinnesorgane kann man auch die Nerven reizen. Wir unterscheiden dreierlei Nerven, auf welche wir den Reiz einwirken lassen können, die **sensiblen Nerven**, welche die Erregung von den Sinnesorganen zum Zentralnervensystem leiten, die motorischen Nerven, welche das Zentralnervensystem mit den Erfolgsorganen verbinden, und die intrazentralen Nerven, welche die Verbindung zwischen einzelnen Zentren eines Nervensystems herstellen. Beim Nervensystem der Wirbeltiere treten die sensiblen und motorischen Nerven als sensible und motorische Nervenwurzeln an der Rück- und Bauchseite des Rückenmarkes getrennt ein und bieten daher für eingehende Versuche besonders günstige Bedingungen (siehe Fig. 6).

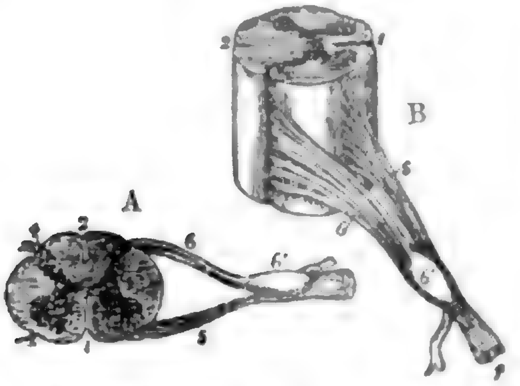


Fig. 6. Rückenmark mit Querschnitt A, und Seitenansicht B. 1 vordere Rückenmarksfurche, 2 hintere Rückenmarksfurche, 5 motorische Wurzel, 6 sensible Wurzel, 6' Spinalganglion. Nach **Allen Thomson** aus **Luciani**.

4b) Verschiedenheit in der Reizbeantwortung zwischen Zentralnervensystem und peripheren Nerven. Wenn wir mit diesen Methoden die Reizbeantwortung eines Nervensystems studieren, so tritt uns eine Tatsache entgegen, welche schon bei Besprechung des Sauerstoffbedürfnisses unsere besondere Aufmerksamkeit erregt hat; es ist die Tatsache, daß sich das Zentralnervensystem und die Ganglien durch eine Reihe von Eigenschaften funktionell von den Nervenfortsätzen unterscheiden.

α) **Erregungsleitung.** Die Verschiedenheit zwischen Nerv und Zentralnervensystem tritt uns besonders entgegen, wenn wir die Erregungsleitung untersuchen. Die Erregungsleitung spielt bei allen Formen der lebendigen Substanz eine große Rolle, aber an keinem lebendigen System ist die Erregungsleitung so hoch entwickelt, wie bei den Zellen des Nervensystems.

aa) Geschwindigkeit der Erregungsleitung im Nerven. Die Leitungsgeschwindigkeit eines Nerven wird bestimmt, indem man den Nervenstamm an zwei möglichst weit voneinander entfernten Stellen hintereinander reizt und die Zeiten bestimmt, welche die Erregung braucht, um von den beiden Reizstellen zum Muskel zu gelangen. Diese Zeit ist natürlich bei Reizung des Nerven in der Nähe des Muskels geringer. Aus der Zeitdifferenz und aus der Länge der Nervenstrecke zwischen den beiden Reizstellen läßt sich die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit leicht berechnen. Wir erhalten noch genauere Resultate, wenn wir statt der Muskelzuckung die Elektrizitätsproduktion des Muskels oder des Nerven registrieren. Derartige Untersuchungen haben gezeigt, daß die Leitungsgeschwindigkeit der Nerven verschiedener Tiere bedeutende Verschiedenheiten aufweisen. An dem einen Ende der Reihe steht der Menschennerv, der, wie **Piper** gezeigt hat, die Erregung mit einer Geschwindigkeit von 120 m in der Sekunde leitet. Folgende Tabelle soll einzelne Werte der Fortpflanzungsgeschwindigkeit veranschaulichen:

	in der Sekunde
Mensch	120 m
Frosch	30 „
Tintenschnecken	1 „
Seehase (eine Meerschnecke)	40 cm
Teichmuschel	10 „

Die Leitungsgeschwindigkeit ist in besonderem Maße vom Zustande des Nerven und seiner Temperatur abhängig. Alle lähmenden Reize wie Temperaturerniedrigung, Sauerstoffmangel, Narkose, Kohlensäurewirkung verlangsamen die Leitungsgeschwindigkeit.

bb) Das Verhältnis zwischen Erregung und Erregungsleitung. Wir finden noch vielfach Angaben, daß sich die Funktion der Erregungsleitung des Nerven trennen läßt von seiner Erregbarkeit. Die Feststellung dieser Tatsache wäre von großer Bedeutung, da die Funktion der Erregungsleitung allen Formen lebendiger Substanz zukommt. Die Angaben über die Trennung von Erregbarkeit und Leitfähigkeit stützen sich auf folgende Beobachtungen: Wenn wir eine Strecke eines Nerven narkotisieren, indem wir sie durch eine Glaskammer ziehen, durch welche wir Dämpfe eines Narkotikums hindurchleiten, und wenn wir nun, wie dies Figur 7 zeigt, die Erregbarkeit jenseits und innerhalb der narkotisierten Stelle prüfen, so finden wir, daß die Erregbarkeit der Reizstelle C, von welcher die Erregung

Digitized by Google

die narkotisierte Stelle durchlaufen muß, um zum Muskel zu gelangen, anfänglich unverändert bleibt. Gleichzeitig sinkt aber

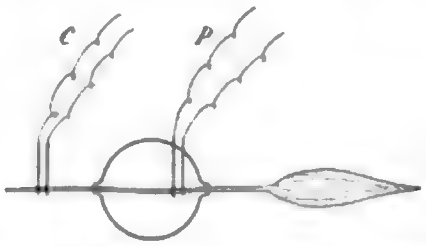


Fig. 7 zeigt an Nerven eines Nervmuskelpräparates in eine Glaskammer eingeschlossen und zwei Paare Elektroden, welche zur Reizung des Nerven dienen.

die Erregbarkeit an der Reizstelle P, welche innerhalb der narkotisierten Stelle gelegen ist, beständig. Dann aber verschwindet die Leitfähigkeit der narkotisierten Nervenstelle für Erregungen von C aus plötzlich, während die Erregbarkeit im Punkte P, wenn auch herabgesetzt, vorhanden ist. Die Figur 8 zeigt das Verhalten von Erregbarkeit und Leitfähigkeit einer narkotisierten

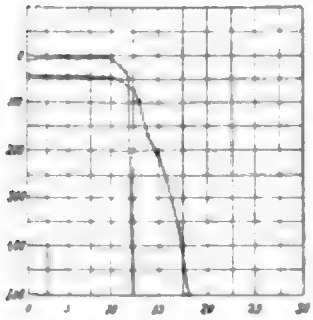


Fig. 8 zeigt das Verhalten der Erregbarkeit und Leitfähigkeit bei Narkose einer Nervenstrecke. Die Abszisse gibt die Zeit in Minuten, die Ordinate die Reizstärken. Nach **Laurens**.

Strecke in Form einer Kurve. Es liegen also tatsächlich Beobachtungen vor, die für eine Trennung von Erregbarkeit und Leitungsfunktion zu sprechen scheinen.

Die Untersuchungen von **Fröhlich** und **Boruttau** haben aber gezeigt, daß diese Trennung nur eine scheinbare ist, indem eine Reihe von Veränderungen, welche die Erregung innerhalb der narkotisierten Strecke erfährt, wie z. B. die Verlangsamung der Leitung, die Zunahme der Dauer des Erregungsvorganges, auf die narkotisierte Strecke beschränkt bleiben und außerhalb derselben nicht zum Ausdruck kommen. Auch liegt ja die Stelle, von der wir die Leitfähigkeit prüfen, an einer nicht narkotisierten Nervenstelle, während die zweite Reizstelle innerhalb der narkotisierten Nervenstrecke liegt. Die Leitfähigkeit verschwindet in einem späteren Stadium der Narkose deshalb früher als die Erregbarkeit, weil die Erregung die ganze narkotisierte Nervenstrecke durchlaufen muß, um zum Muskel zu gelangen und dabei eine so starke Abnahme (Dekrement) erfährt, daß sie innerhalb der narkotischen Nervenstelle erlischt. Da diese Strecke für die Erregung, die von der Reizstelle P ausgeht, nur sehr kurz ist, kann die Erregung sie noch durchlaufen. Nach diesen Ergebnissen kann kein Zweifel bestehen, daß Erregbarkeit und Leitfähigkeit, bezw. Erregung und Erregungsleitung aufs engste miteinander verknüpft sind. Das Problem des Erregungsvorganges schließt das Problem der Erregungsleitung in sich ein.

cc) **Beziehung zwischen Reiz und Reizwirkung.** Man hat sich lange bemüht, eine gesetzmäßige Beziehung zwischen Reiz und Reizwirkung zu finden. Doch es ist erst **Nernst** gelungen, ein einfaches Gesetz für die Wirkung kurzdauernder elektrischer Reize aufzustellen. **Nernst** ging bei seinen Untersuchungen von der Annahme aus, daß die Zellen des Organismus in der Weise polarisierbar sind, daß an für Salz nicht durchlässigen Membranen Konzentrationsänderungen auftreten, und leitete in Berücksichtigung der **Warburg**schen Theorie der Diffusionskapazität das durch Experimente beweisbare Gesetz ab, daß der Grenzwert der Intensität eines Wechselstromes, der eben noch als Reiz wirkt, der Wurzel aus der Schwingungszahl proportional ansteigt. Die **Nernst**sche Theorie ist durch eine große Reihe von Untersuchungen bestätigt worden. Doch ist sie vorderhand nicht imstande, die Gesamtheit der Erscheinungen, welche bei elektrischer Reizung auftreten, zu erklären. Sicher ist, daß die primäre Wirkung eines elektrischen Reizes in einer Konzentrationsänderung zum Ausdruck kommt, welche zwischen zwei flüssigen Phasen auftritt, deren Trennungsfläche sich wie eine Membran verhält.

dd) **Die polare Wirkung des konstanten Stromes auf den Nerven.** Auf Grund der **Nernst**schen Anschauungen lassen sich alle Polarisationserscheinungen verstehen, welche am Nerven auftreten, wenn wir einen länger dauernden Strom hindurchschicken. Die Gesamtheit dieser Erscheinungen bezeichnen wir als **Elektrotonus**. Leiten wir mit Hilfe zweier unpolarisierbarer Elektroden (vgl. den Artikel „**Elektrizitätsproduktion**") einen Strom durch einen Nerven, so treten an der Ein- und Austrittsstelle des Stromes entgegengesetzte Wirkungen auf. Bei Schließung des Stromes ist die Erregbarkeit an der Austrittsstelle erhöht. Es geht von ihr eine Erregungswelle aus, während an der Eintrittsstelle des Stromes die Erregbarkeit vermindert ist. Umgekehrt sind diese Aenderungen bei der

Oeffnung des Stromes. Die Erregbarkeit ist nach der Oeffnung des Stromes an der Eintrittsstelle gesteigert, an der Austrittsstelle herabgesetzt, es geht die Erregungswelle von der Eintrittsstelle aus. Beim Nerven breiten sich im Gegensatz zum Muskel diese elektrotonischen Veränderungen über den ganzen Nerven aus.

Die Erregungswelle selbst folgt in ihrem Ablauf Gesetzmäßigkeiten, welche sich den Nernstschen Anschauungen unterordnen. Sie entsteht und vergeht in der gleichen Weise wie eine Konzentrationsänderung an einem nicht organischen System. Wir müssen daraus schließen, daß auch beim Erregungsvorgang selbst Konzentrationsänderungen enge beteiligt sind. An Hand der Nernstschen Vorstellungen lassen sich auch die rhythmischen Erregungswellen verstehen, welche bei der Schließung eines konstanten Stromes von der Austrittsstelle, der Kathode, bei der Oeffnung von der Anode ausgehen, Schließungs- und Oeffnungstetanus (vgl. den Artikel „Muskeln. Allgemeine Physiologie der Muskeln"). An Polarisationszellen, deren Diffusionsvorgänge verlangsamt sind, oder deren Polarisierbarkeit erhöht ist, lassen sich die gleichen rhythmischen Entladungen konstatieren.

ee) Elektrizitätsproduktion der Nerven. Wie nun bei den Polarisationszellen eine enge Beziehung besteht zwischen der durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Konzentrationsänderung und den Polarisationsströmen, welche bei Ausgleich der Konzentrationsänderung auftreten, so besteht auch eine enge Beziehung zwischen der Erregung und den elektrischen Strömen, welche bei der Erregung der lebendigen Substanz des Nerven entstehen. Jede Stelle eines Nerven, welche sich in Erregung befindet, oder durch Sauerstoffmangel, Abkühlung, Narkose, Kohlensäurewirkung, Erstickung usw. gelähmt ist, verhält sich zu den übrigen Nervenpunkten negativ elektrisch.

Wir bezeichnen jenen Strom, welcher von einer unverletzten Nervenstelle zu einer verletzten oder gelähmten hinfließt, als Demarkationsstrom oder Ruhestrom, während wir den bei der Erregung auftretenden Strom als Aktionsstrom bezeichnen (vgl. den Artikel „Elektrizitätsproduktion").

ff) Theorie der Erregungsleitung im Nerven. Mit den Polarisationserscheinungen am Nerven ist enge das Problem der Erregungsleitung verknüpft. Wir wissen wohl bestimmt, daß der Prozeß der Erregungsleitung nichts Gemeinsames hat mit der Leitung des elektrischen Stromes durch metallische Leiter. Die Fortpflanzung der Erregung kann nur dadurch zustande kommen, — und das ist ein Prinzip, das der Erregungsleitung in jeder lebendigen Substanz zugrunde liegt —, daß jeder in Erregung befindliche Querschnitt den benachbarten in Erregung versetzt. Der Vorgang, welcher die Erregung des benachbarten Querschnittes veranlaßt, kann aber bei verschiedenen Formen der lebendigen Substanz verschieden sein. Die Tatsache, daß einerseits der Nerv so sehr für elektrische Ströme erregbar ist, andererseits bei der Erregung so starke Ströme entstehen, daß der Nerv durch sie erregt werden kann (sekundäre Erregung), verleiht der Hermannschen Theorie der Erregungsleitung hohe Wahrscheinlichkeit. Hermann stellt sich vor, daß die Erregungsleitung dadurch zustande kommt, daß jeder Querschnitt den benachbarten durch den bei der Erregung entstehenden elektrischen Strom in Erregung versetzt.

Die Geschwindigkeit der Erregungsleitung ist nur ein Ausdruck der Geschwindigkeit der Erregung an jedem einzelnen Querschnitt des Nerven. Die Reaktionsgeschwindigkeit an jedem Querschnitt hängt von der Beteiligung einer großen Reihe von Faktoren ab, dem Wasser- und Salzgehalt, der Temperatur, der Beteiligung oxydativer Vorgänge, dem kolloidalen Zustand der lebendigen Substanz. Nicht in geringem Maße mag auch die Struktur des Nerven selbst an der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung beteiligt sein. Eine große Reihe von Experimenten haben gezeigt, daß an sogenannten Kernleitermodellen, welche aus einem metallischen Leiter bestehen, der in eine Elektrolytenlösung eintaucht, bei elektrischer Durchströmung Stromschwankungen auftreten, welche in vieler Beziehung mit dem Erregungsvorgang übereinstimmen. Wir haben eine Kernleiterstruktur am Nerven, wenn wir die Fibrille als den Kern und das Protoplasma als die Kernhülle auffassen. Bethe vertritt allerdings den Standpunkt, daß die Erregung nur von den Nervenfibrillen geleitet wird.

gg) Erregungsleitung im Zentralnervensystem. Der Erregungsleitung durch das Zentralnervensystem liegen die gleichen Prinzipien zugrunde, nur finden wir, wie zuerst Exner gezeigt hat, daß die Erregungswelle im Zentralnervensystem eine wesentliche Verzögerung erfährt, die um so größer ist, je mehr Ganglienzellstationen von ihr durchlaufen werden müssen. In dieser verschiedenen Reaktionsgeschwindigkeit der Vorgänge im zentralen und peripheren Nervensystem liegt, wie schon Bethe für eine Reihe von Eigenschaften des Nervensystems gezeigt, der Schlüssel für das Ver-

Digitized by Google

ständnis der Verschiedenheiten, welche zwischen der Reizbeantwortung des peripheren und zentralen Nervensystems bestehen.

hh) Die Irreziprozität der Erregungsleitung. Während die Erregung im Nerven nach beiden Richtungen geleitet wird, vermag die Erregung im Zentralnervensystem nur in der in Figur 3 angedeuteten Richtung zu laufen. Wenn wir z. B. einen sensiblen Nerven des Rückenmarks reizen, so können wir im zugehörigen motorischen Nerven eine Erregung nachweisen, die entweder in einer Zuckung des Muskels oder in einem Aktionsstrom des Nerven zum Ausdruck kommt. Bei Reizung des motorischen Nerven läßt sich in den sensiblen Nerven keine Erregung nachweisen.

β) Das Dekrement der Erregungsleitung. Unter Dekrement verstehen wir die Abnahme der Intensität der Erregung beim Ablaufen über eine Form der lebendigen Substanz.

Es gibt Nerven, bei welchen es noch nicht entschieden ist, ob sie die Erregung mit oder ohne Dekrement leiten, es sind das jene Nerven, welche die Erregung mit großer Geschwindigkeit leiten. Dagegen lassen die Nerven mit geringer Fortpflanzungsgeschwindigkeit ein Dekrement deutlich erkennen, das um so stärker erscheint, je geringer die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist. Es wurde schon oben darauf aufmerksam gemacht, daß ein Dekrement bei anscheinend dekrementlos leitenden Nerven hervortritt, wenn ihre Leitungsgeschwindigkeit durch lähmende Beeinflussungen verlangsamt worden ist. Es gilt diese Gesetzmäßigkeit nicht nur für Muskeln und Nerven, sondern für alle Formen lebendiger Substanz. Das Dekrement kann nur so zustande kommen, daß jeder in Erregung befindliche Nervenquerschnitt nicht imstande ist, einen gleichstarken Erregungsvorgang im benachbarten Querschnitt auslösen.

Mag nun ein peripherer Nerv die Erregung mit oder ohne nachweisbares Dekrement leiten, immer weist das Zentralnervensystem ein relativ stärkeres Dekrement auf. Das ist auch verständlich, da die Reaktionsgeschwindigkeit im Zentralnervensystem immer relativ geringer ist, als im peripheren Nerven.

γ) Die Summation von Reizen. Wenn wir auf einen sensiblen und einen motorischen Nerven des Rückenmarkes einen gleich starken kurz dauernden elektrischen Reiz einwirken lassen, so erscheint die Reizung der sensiblen Wurzel unwirksam oder nur schwach wirksam, während der auf den motorischen Nerven treffende Reiz eine starke Zuckung des Muskels hervorruft. Das ist der Ausdruck des Dekrements, welches die Erregungswelle innerhalb des Zentralnervensystems erfährt. Wenn wir nun den gleichen Reiz 30 mal in der Sekunde auf beide Nerven einwirken lassen, so sehen wir, daß jetzt der Erfolg der Reizung des sensiblen Nerven in keiner Weise hinter dem der Reizung des motorischen Nerven zurücksteht. Das Rückenmark hat die Fähigkeit, die schwache Wirkung des Einzelreizes zu einer sehr starken Wirkung zu summieren. Es sind vorwiegend zwei Bedingungen, die den Eintritt der Summation begünstigen. In erster Linie das Dekrement der Erregungsleitung, welches bewirkt, daß die Einzelerregung nur in schwacher Form geleitet wird. Dort, wo der Einzelreiz schon eine sehr starke Erregung hervorruft, kann sich seine Wirkung durch Summation nicht wesentlich verstärken. In zweiter Linie kommt die Dauer der Erregung in Betracht. Je länger die Erregung dauert, um so eher wird ein folgender Reiz noch einen Erregungsrückstand von dem vorhergehenden vorfinden, zu dem er sich summieren kann. Die zeitlichen Intervalle, innerhalb welcher sich die Reize folgen können, um summiert zu werden, sind bei den verschiedenen Nervensystemen nach oben und unten begrenzt. Sie dürfen nicht so schnell einander folgen, daß die nachfolgenden in das Stadium der Unerregbarkeit (Refraktärstadium) fallen, welches jeder Reiz nach sich zieht; sie dürfen aber auch nicht in so großen Intervallen einander folgen, daß die Erregung, welche vom vorhergehenden Reiz hervorgerufen wurde, vollkommen abgelaufen ist.

Beide Bedingungen für den Eintritt der Summation sind im Zentralnervensystem gegeben. Wir beobachten aber auch Summationserscheinungen an peripheren Nerven, sofern sie ein Dekrement aufweisen und ihre Reaktionsgeschwindigkeit gering ist. Wir können auch bei den schnellleitenden Nerven die Reaktionsgeschwindigkeit durch lähmende Reize verlangsamen, dann läßt sich auch bei ihnen eine Reizsummation nachweisen.

γ) Die scheinbare Bahnung. Das Zentralnervensystem zeigt eine Eigenschaft, welche dem Summationsphänomen nahe verwandt ist, sich jedoch in einer wichtigen Beziehung von ihm unterscheidet. Wenn wir eine Reihe von Reizen auf einen sensiblen Nerven wirken lassen, so summieren sich die einzelnen Erregungswellen nicht in einfacher Weise, sondern die späteren Reize erscheinen besser wirksam als die ersten. Dies Verhalten kann uns in mannigfaltiger Form entgegentreten. Man hat es früher vielfach als eine Bahnung bezeichnet (Exner),

Digitized by Google

indem man sich vorstellte, daß die vorhergehenden Reize die nachfolgenden bahnen. Die Untersuchungen von Fröhlich haben aber gezeigt, daß diese Zunahme des Reizerfolges nicht auf einer wirklichen Bahnung beruht, sondern in naher Beziehung zu dem weit verbreiteten Phänomen der scheinbaren Erregbarkeitssteigerung steht. Die scheinbare Erregbarkeitssteigerung kommt dadurch zustande, daß die an sich schon langsamen Vorgänge im Zentralnervensystem durch eine Folge von Reizen noch weiter verlangsamt werden. Figur 9

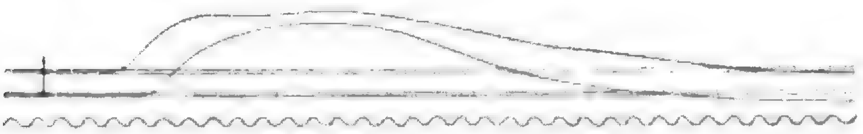


Fig. 9 zeigt die Verlängerung der Reflexzeit durch eine kurzdauernde Reizung. Zwischen der Aufzeichnung der oberen und unteren Kurve ist eine bahnende Reizung eingeschaltet. Die untere Kurve ist höher, die Reflexzeit dauert länger. Die Zeit ist mit einer Stimmgabel von 100 Schwingungen aufgezeichnet. Nach Ishikawa.

zeigt zwei durch Reizung eines sensiblen Nerven hervorgerufene Reflexzuckungen, zwischen welche eine kurzdauernde Reizung eingeschaltet ist. Die zweite Zuckung ist höher als die erste, doch ist die Reflexzeit wesentlich verlängert, der Beginn der zweiten Kurve erfolgt wesentlich später. Es ist dies nichts anderes als eine Ermüdungserscheinung, welche von allen Formen lebendiger Substanz gezeigt wird, welche aber um so mehr hervortritt, je geringer schon von vornherein die Reaktionsgeschwindigkeit ist. Durch die weitergehende Verlangsamung nimmt die Summationsfähigkeit immer mehr zu. Die scheinbare Erregbarkeitssteigerung läßt sich auch am peripheren Nerven ohne weiteres nachweisen, wenn seine Erregungsvorgänge verlangsamt werden. Wir können die scheinbare Bahnung auch am Zentralnervensystem stärker hervortreten sehen, wenn wir die Erregungsvorgänge z. B. durch Abkühlung verlangsamen. So werden die Erregbarkeitssteigerungen verständlich, welche wir bei länger dauernder Abkühlung oder bei Beginn des Sauerstoffmangels oder bei Erkrankungen des Nervensystems (Neurasthenie) beobachten.

ε) Tonus. Wenn wir die durch das Nervensystem vermittelten Muskelbewegungen beobachten, so können wir verschiedene Typen von Bewegungen unterscheiden, die schnellen, kurz dauernden Kontraktionen, wie sie z. B. beim Klavierspielen oder Schreibmaschineschreiben notwendig sind; die langen tetanischen Kontraktionen (vgl. den Artikel „Allgemeine Physiologie der Muskeln"), welche beim Erhobenhalten eines Gewichtes nötig sind und die schwachen, andauernden Verkürzungen, welche sich beim Menschen ohne Beteiligung des Bewußtseins abspielen. Diese dritte Art der Verkürzung bezeichnen wir als eine tonische. Der Tonus spielt im Organismus eine wichtige Rolle. Wenn wir sitzen, so drücken unsere Sitzbeinknochen durch die Muskulatur und die Haut des Gesäßes auf die harte Unterlage. Dadurch, daß das Nervensystem die Gesäßmuskulatur zu einer tonischen Verkürzung anregt, wirken die Muskeln wie ein federndes Kissen und verhindern ein Durchsitzen der Haut. Die Bedeutung des Tonus tritt erst hervor, wenn die Bedingungen, die für sein Zustandekommen notwendig sind, fehlen. Dies ist z. B. bei gewissen Rückenmarkserkrankungen der Fall, bei welchen es sehr häufig zu schweren Hautdefekten infolge Durchliegens kommt. Schon durch diese Beobachtungen wird das auslösende Moment der tonischen Innervation deutlich. Es ist die mechanische Reizung der sensiblen Nerven der Haut, der Muskeln und Gelenke, welche auf reflektorischem Wege die tonische Verkürzung hervorruft. In Erkenntnis dieser Bedingung bezeichnen wir den Tonus auch als Reflextonus. Seine Stärke ist abhängig von der Stärke der Erregung der sensiblen Fasern in der Peripherie. Von der Richtigkeit dieser Tatsache kann man sich durch die Beobachtung überzeugen, daß nach Durchschneidung der sensiblen Nerven eines Muskelgebietes der Tonus wegfällt. Wir können die sensiblen Wurzeln der hinteren Extremität eines Frosches durchschneiden und beobachten, wenn wir den Frosch in die Höhe halten, daß auf der Seite, auf welcher die Wiedererregung in der Peripherie nicht wirken kann, das Bein schlaff herunterhängt, während das Bein der anderen Seite in einer mehr oder minder starken Beugung gehalten wird (s. Fig. 10). Aber vollkommen tonuslos ist das Bein der operierten Seite nicht, weil auch noch von anderen Sinnesorganen unter Vermittlung des Rückenmarkes tonische Erregungen zu den Muskeln geleitet werden können. Wir haben bei verschiedenen Tieren eigene Sinnesapparate und Nervenzentren, welche der tonischen Innervation dienen. Es ist dies beim Menschen das Labyrinth, dessen Nerven mit den nervösen Zentren des Kleinhirns in Verbindung stehen; bei den Wirbellosen ist es der Statolythenapparat. Wir kennen aber noch einen zweiten Faktor, welcher beim Zustandekommen des Tonus mitwirkt. Es ist die Fähigkeit des Zentralnervensystems, einen kurzdauernden

Digitized by Google

Reiz nicht nur mit einer einzelnen Erregung, sondern mit einer Folge von Erregungswellen zu beantworten, welche durch den motorischen Nerven dem Muskel zu geleitet werden und ihn zu einer tonischen Verkürzung anregen. Wir können einen sensiblen Nerven und einen motorischen Nerven mit dem gleichen elektrischen Reiz erregen und beobachten, wie Figur 11 zeigt, daß die Reflexzuckung viel länger dauert als die durch Reizung des motorischen Nerven ausgelöste Zuckung. P. Hoffmann konnte mit dem Saitengalvanometer den elektrischen Ausdruck der einzelnen Erregungswellen, welche der Reflexzuckung zugrunde liegen, nachweisen. Es ist derselbe Rhythmus von Erregungswellen, welche wir auch, wie die Untersuchungen von Piper, Garten, Buchanan gezeigt haben, bei der willkürlichen Innervation vom Muskel ableiten können. Sie haben beim Menschen eine Frequenz von 50 bis 100 in der Sekunde.

Fig. 10 zeigt einen Frosch, dem die sensiblen Nervenwurzeln der rechten unteren Extremität durchschnitten worden sind. Das rechte Bein hängt schlaff herunter, das linke zeigt eine andauernde Verkürzung.

Die Fähigkeit des Zentralnervensystems einen Tonus zu vermitteln ist in besonderem Maße von seinem Zustande abhängig. Alle lähmenden Beeinflussungen, welche die Intensität der Erregungsvorgänge wesentlich vermindern, wie Ermüdung, Sauerstoffmangel usw., gehen mit einer unverhältnismäßig starken Abnahme der tonischen Reaktion einher. Lähmende Beeinflussungen dagegen, welche die Erregungsvorgänge im Zentralnervensystem verlangsamen, ohne sie wesentlich zu verringern, können nach dem Prinzip der scheinbaren Erregbarkeitssteigerung sogar mit einer Zunahme des Tonus einhergehen. In diesem Sinne wirkt die längerdauernde Abkühlung, der die Winterfrösche ausgesetzt sind. Die Fähigkeit, Reize mit einer Folge von Erregungswellen zu beantworten, tritt auch an Nerven mit geringerer Reaktionsgeschwindigkeit deutlicher hervor. Der periphere Nerv besitzt infolge seiner großen Reaktionsgeschwindigkeit nur Andeutungen einer rhythmischen Reizbeantwortung. Doch hat Garten für den Kaltfroschnerven gezeigt, daß er den konstanten Strom mit einer Folge von Erregungswellen beantworten kann. Die Eigenschaft, Reize mit einer Folge von Erregungswellen zu beantworten, kommt einer Fülle von Formen lebendiger Substanz zu. Sie weist sehr nahe Beziehungen auf zu der rhythmischen Entladung von Polarisationszellen, welche gleichfalls von der Reaktionsgeschwindigkeit des Systems abhängig sind und um so mehr hervortreten, je geringer die Reaktionsgeschwindigkeit ist. Fassen wir diese Erfahrungen über den durch das Zentralnervensystem vermittelten Tonus zusammen, so sehen wir, daß er in naher Beziehung zur Reflexzuckung und zum Reflextetanus steht. Der periphere Nerv besitzt die Fähigkeit der tonischen Reizbeantwortung nur in äußerst geringem Maße. Er leitet infolge seiner großen Reaktionsgeschwindigkeit die den Muskeltonus veranlassenden Erregungswellen so weiter, wie sie ihm vom Zentralnervensystem übermittelt werden.

ζ) Ermüdung. Auch in bezug auf die

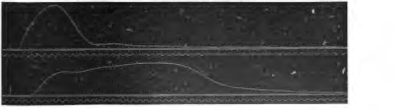


Fig. 11 zeigt die längere Dauer der reflektorisch angeregten Muskelzuckung (untere Kurve) im Vergleich zur direkt erregten Muskelzuckung. Zeit mit einer Stimmgabel von 100 Schwingungen in der Sekunde geschrieben. Nach Ishikawa.

Digitized by Google

Ermüdung unterscheidet sich peripheres und zentrales Nervensystem voneinander. Die größere Ermüdbarkeit des Zentralnervensystems hängt enge mit seiner geringeren Reaktionsgeschwindigkeit zusammen. Je länger ein Erregungsvorgang dauert, um so längere Zeit dauert es, bis sich nach einem Reiz die anfänglichen Erregbarkeitsverhältnisse wieder hergestellt haben. Dadurch ermüdet das Zentralnervensystem schon bei einer Reizfrequenz, bei der sich beim Nerven noch keine Ermüdungserscheinungen nachweisen lassen. Der periphere Nerv hat bis vor wenigen Jahren als unermüdbar gegolten. Heute kennen wir aber die Umstände, unter denen auch der Nerv ermüdbar ist. Garten hat am langsam leitenden Riechnerven des Hechts als erster die Nervenermüdbarkeit beobachtet. Fröhlich hat dann gezeigt, daß sich auch an den schnellleitenden Nerven des Frosches und des Kaninchens Ermüdungserscheinungen nachweisen lassen, wenn durch lähmende Beeinflussungen ihre Reaktionsgeschwindigkeit verlangsamt wird.

Am Nervensystem kann ebenso, wie an jeder anderen Form der lebendigen Substanz, die Ermüdung in zweifacher Weise zum Ausdruck kommen, in Form einer relativen und einer absoluten Ermüdung. Wenn wir ein Zentralnervensystem durch seine Nerven schwach erregen, so sehen wir nach einer kurz dauernden erregenden Wirkung den Reiz unwirksam werden. Die Ermüdung ist aber nur für diese geringe Reizstärke eingetreten, da ein Verstärken des Reizes genügt, um wieder eine Wirkung zu erhalten. Wenn wir aber ein Zentralnervensystem längere Zeit mit sehr starken Reizen erregen, so tritt nach einiger Zeit gleichfalls Unerregbarkeit ein. Wir erhalten jetzt keine nach außen sichtbare Wirkung mehr, wenn wir den Reiz verstärken. Wir bezeichnen diese Art der Ermüdung als absolute. Relative und absolute Ermüdung sind für das Zustandekommen der wichtigen Hemmungsvorgänge im Zentralnervensystem von großer Bedeutung.

Relative und absolute Ermüdung lassen sich auch am Nerven feststellen. Die relative Ermüdung läßt sich, wie die Untersuchungen von Thörner gezeigt haben, auch an schnelleitenden Nerven kalt- und warmblütiger Tiere nachweisen, die absolute Ermüdung nur an solchen Nerven, deren Reaktionsgeschwindigkeit an sich schon gering ist, oder deren Lebensvorgänge durch eine lähmende Beeinflussung verlangsamt sind.

Relative und absolute Ermüdung kommen dadurch zustande, daß sich an jeden kurzdauernden Reiz ein Stadium der Unerregbarkeit, ein Refraktärstadium, anschließt. Das relative Refraktärstadium ist, genau ebenso wie die relative Ermüdung dadurch charakterisiert, daß die Unerregbarkeit nur für einen schwachen Reiz besteht; jeder stärkere Reiz aber wirksam ist. Im absoluten Refraktärstadium ist jeder Reiz unwirksam. Die Dauer des relativen und absoluten Refraktärstadiums ist erstens abhängig von der Geschwindigkeit, mit der sich die lebendige Substanz des Nervensystems nach einem Reiz restituiert. Der in das Refraktärstadium fallende Reiz erscheint unwirksam, muß es aber in Wirklichkeit nicht sein. Seine Wirkung kann sich darauf beschränken, daß er das Refraktärstadium verlängert. In keiner Weise ist es zulässig, wie es Keith Lukas getan hat, jene Zeit als Refraktärstadium zu bezeichnen, während welcher ein zweiter Reiz überhaupt keine Wirkung hervorruft. Wir können das Reizintervall zwischen zwei starken Reizen so kurz nehmen, daß die beiden Reize nur wie ein einzelner Reiz auf die lebendige Substanz wirken. Wir erhalten dann durch den zweiten Reiz weder eine Steigerung der Wirkung des ersten Reizes, noch eine Verlängerung seines Refraktärstadiums. Es ist selbstverständlich, daß die Dauer dieses Zeitintervalls abhängig ist von der Reaktionsgeschwindigkeit der gereizten lebendigen Substanz. Es ist geringer bei einem schneller reagierenden, als bei einem langsam reagierenden Nervensystem. Die Wiederherstellung der Erregbarkeit vollzieht sich erst schnell, dann immer langsamer. Es kehrt zuerst die Erregbarkeit für die starken, erst allmählich für die schwachen Reize wieder. Da die Erregbarkeit des Zentralnervensystems durch den leichten Eintritt einer relativen Ermüdung, oder einer scheinbaren Erregbarkeitssteigerung, vielfach Schwankungen unterworfen ist, so eignet sich die Bestimmung der Erregbarkeit weniger für das Studium dieser Vorgänge. Es ist besser, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung durch das Zentralnervensystem als Indikator zu nehmen. Wie die Untersuchungen von Ishikawa gezeigt haben, erfährt durch Ermüdung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine wesentliche Verlangsamung. Die Figur 12 zeigt, daß bei der Erholung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung erst schnell, dann langsam zunimmt und erst allmählich den anfänglichen Wert erreicht.

η) Hemmung. Wir sind nicht nur imstande, unter Vermittelung unseres Nervensystems eine Muskelgruppe willkürlich zu kontrahieren, sondern wir können auch einen in Kontraktion befindlichen Muskel willkürlich zur Erschlaffung bringen. Letzteren Vorgang bezeichnen wir als Hemmung.

Digitized by Google

Hemmungen lassen sich an allen Nervensystemen auch reflektorisch hervorrufen.

Wenn wir einem Frosch das Rückenmark durchschneiden, so können wir, nach Ab-

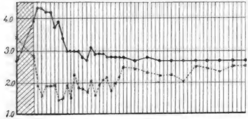


Fig. 12 zeigt die Veränderungen der Reflexzeit —— und der Höhe der Reflexzuckung ..... durch eine ermüdende Reizung von 30 Sekunden, schräg schattiert. Die senkrechten Linien schließen ein Zeitintervall von 40 Sekunden ein. Nach Ishikawa.

lauf des durch die Operation hervorgerufenen Reizes, das von dem Großhirn und dem verlängerten Mark isolierte Rückenmark zum Studium der Reflexhemmung verwenden. Kneifen wir die eine hintere Extremität, so wird durch die damit verbundene Reizung der sensiblen Hautnerven, unter Vermittelung des Rückenmarkes, eine Beugung der gereizten Extremität ausgelöst, die längere Zeit anhält. Kneifen wir nun die Zehen der anderen hinteren Extremität, so erhalten wir eine Beugung derselben, während die Muskeln der anderen Extremität gehemmt werden und erschlaffen.

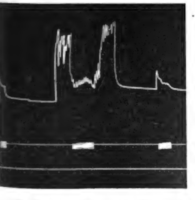


Fig. 13 zeigt die hemmende Wirkung einer Reizung auf die Wirkung einer bestehenden Reizung.

Einen solchen Versuch am Frosch zeigt die Figur 13. Durch Reizung der Oberschenkelhaut wurde ein Streckmuskel des Knies zur Kontraktion gebracht. Eine schwache Reizung des Hüftnerven veranlaßt während der Dauer der Reizung eine Erschlaffung des Streckmuskels.

Entsprechende Versuche an den Nervensystemen verschiedener Tiere haben gezeigt, daß die Hemmungen für das Geschehen des Nervensystems von ebenso großer Bedeutung sind wie die Erregungen. Nur durch das wechselnde Spiel von Kontraktion und Erschlaffung verschiedener Muskeln und Muskelgruppen können die komplizierten Reflexbewegungen wie das Gehen, Laufen, Schwimmen, Fliegen usw. zustande kommen. Die Hemmungen kommen, wie insbesondere die Untersuchungen von Fröhlich gezeigt haben, durch eine relative Ermüdung der am Reflex beteiligten nervösen Zentren zustande. Bei einer Reihe von Hemmungen kommt auch eine absolute Ermüdung in Betracht. Wir haben schon oben bei Besprechung des Tonus gehört, daß im Nervensystem nicht einzelne Erregungswellen, sondern immer Reihen von Erregungswellen geleitet werden. Eine solche Reihe von Erregungen kann die Ganglienzellen, deren Nerven einen Muskel innervieren, erregen und dadurch eine Kontraktion des betreffenden Muskels hervorrufen. Kommen zu den gleichen Ganglienzellen gleichzeitig durch eine andere Nervenbahn eine andere Reihe von Erregungen, die für sich allein gleichfalls eine Kontraktion des Muskels herbeiführen würden, so können sich die beiden Reihen von Erregungen hemmen. Die Hemmung kommt dadurch zustande, daß diese beiden Erregungsreihen zusammen für den gemeinsamen Angriffspunkt einen Reiz von der doppelten Frequenz vorstellen, der schnell zu einer relativen Ermüdung führt. Die Reize fallen jetzt in das Refraktärstadium der vorhergehenden und werden unwirksam. Hört nun die eine Reihe von Erregungen zu wirken auf, so wirkt jetzt ein weniger frequenter Reiz auf die Ganglienzellen des Muskels ein. Die Ganglienzellen haben Zeit, sich zwischen den einzelnen Reizwellen zu erholen. Infolgedessen ist jede Reizwelle wirksam und der Muskel kontrahiert sich wieder. Unter Umständen ist die Erregungsfolge, die die Hemmung veranlaßt, so schwach, daß sie für sich allein keine nach

Digitized by Google

außen hin sichtbare Wirkung hervorrufen kann. Die tatsächlich vorhandene Wirkung kommt nur in der Hemmung der ersten Reizfolge zum Ausdruck. Ist die zweite Reizfolge stärker wirksam, so kann sie statt der Hemmung eine Verstärkung der ersten Reihe von Erregungen hervorrufen. Indem jetzt stärkere Reize auf den gemeinsamen Angriffspunkt wirken, sind die Bedingungen dem Zustandekommen der relativen Ermüdung nicht mehr günstig.

Darauf ist, wie Fröhlich gezeigt hat, das merkwürdige Verhältnis des Strychnins zu den Hemmungsvorgängen zurückzuführen, das darin zum Ausdruck kommt, daß die hemmende Wirkung einer Reizung durch die Strychninwirkung in eine erregende verwandelt wird. Das Strychnin steigert die Erregbarkeit der sensiblen Ganglienzellen und dadurch kommen zur gemeinsamen Strecke eine Reihe von stärkeren Erregungen, welche dieselbe nicht hemmen, sondern erregen.

Wie die Untersuchungen von Wedensky, Hofmann und Fröhlich schon früher gezeigt haben, lassen sich am Nerven und am Nervmuskelsystem die gleichen Hemmungen darstellen, wenn die Reaktionsgeschwindigkeit des Nerven, oder des Nervenendorgans durch lähmende Beeinflussungen verlangsamt wird. Wir sehen also auch hier wieder eine wichtige Eigenschaft des Zentralnervensystems, wie die Hemmung, im engen Zusammenhang stehen mit seiner geringen Reaktionsgeschwindigkeit.

ϑ) Transformation. Innerhalb des Zentralnervensystems erfährt die Intensität und Frequenz der Erregung eine Umformung, welche für das Zustandekommen der Erscheinungen der Summation, scheinbaren Bahnung, der Hemmungen von großer Bedeutung ist.

Die Intensität der Erregungen, welche auf das Zentralnervensystem auf dem Wege der sensiblen Nerven einwirken, wird verringert durch das Dekrement der Erregungswelle innerhalb des Zentralnervensystems, sie wird auch verringert durch die leichte Ermüdbarkeit des Zentralnervensystems und die damit zusammenhängenden Hemmungen. Dagegen kann durch die Summation schwacher Reizwirkungen eine Steigerung des Reizerfolges stattfinden.

Die Transformation der Erregungsfrequenz beruht auf der Fähigkeit des Zentralnervensystems, die verschiedenen Reizarten mit einem Eigenrhythmus seiner Erregungswellen zu beantworten. Das Rückenmark der Wirbeltiere reagiert auf Reize mit einer Frequenz von 20 bis 100 Erregungswellen in der Sekunde, die wir allerdings nur durch Aufzeichnung der Aktionsströme des innervierten Muskels beobachten können; bei Beobachtung der Muskelkontraktion sehen wir nur eine andauernde Verkürzung des Muskels auftreten. Die Frequenz der Erregungswellen ist bei verschiedenen Tieren verschieden und ist auch vom Zustand des Nervensystems abhängig. Ist die Frequenz der den sensiblen Nerven treffenden Reizung geringer oder höher als die Frequenz des Eigenrhythmus des Zentralnervensystems, so transformiert das Zentralnervensystem diese Frequenz in die Frequenz seines Eigenrhythmus. Es ist aber für das Verständnis der Reizwirkungen sehr wichtig, zu wissen, daß das Zentralnervensystem auch den kurzdauernden den sensiblen Nerven treffenden Reiz mit seinem Eigenrhythmus von Erregungswellen beantwortet. Es wurde schon oben bei Besprechung des Tonus auf dieses Verhalten hingewiesen. Selbst die kürzeste Bewegung eines Muskels, welche durch Vermittelung des Zentralnervensystems ausgelöst wird, wird immer durch eine Folge von Erregungen veranlaßt, stellt also einen kurzdauernden Tetanus vor.

Eine andere Art der Transformation tritt uns in den rhythmischen Reflexen entgegen. Ein Hund, dessen Rückenmark zwischen Brust- und Halsmark durchschnitten wurde, ist, wie insbesondere Sherrington durch eine große Reihe von Experimenten gezeigt hat, ein ausgezeichnetes Objekt für das Studium der rhythmischen Reflexe. Reizen wir, wie dies Figur 14 zeigt, die

Fig. 14 zeigt die rhythmischen Kratzbewegungen eines Rückenmarkshundes bei Reizung der Flankenhaut mit Induktionsschlägen, welche eine Frequenz von 42 in der Sekunde haben. Nach Sherrington.

Flankenhaut des Tieres mit rhythmischen Induktionsschlägen von einer Frequenz von 42 Schlägen in der Sekunde, so führt das Tier mit dem hinteren Bein der gereizten Seite etwa 4 rhythmische Reizbewegungen in der Sekunde aus. Auf die Bedingungen, welche dieser Art der Transformation zugrunde liegen, soll weiter unten bei Be-

Digitized by Google

sprechung der rhythmischen Reflexe eingegangen werden.

Den Nerven kommt die Fähigkeit der Transformation nur in geringem Maße zu. Sie beantworten eine starke Reizung mit dem konstanten Strom mit einem Eigenrhythmus, der eine Frequenz von 1000 Erregungswellen in der Sekunde erreichen kann. Eine Transformation einer rhythmischen Reizung wird nur beobachtet, wenn entweder sehr hohe Reizfrequenzen angewendet oder durch lähmende Beeinflussung die Reaktionsgeschwindigkeit des Nerven verlangsamt wird (Wedensky). In der Regel werden die Erregungen von den Nerven mit einer Frequenz weitergeleitet, wie sie ihm vom Zentralnervensystem oder den Sinnesorganen zugehen.

μ) Shock. Wird das Zentralnervensystem von sehr starken Reizen getroffen, so kann es entweder dauernd seine Erregbarkeit verlieren oder es reagiert mit einer starken Verminderung der Erregbarkeit, welche nur langsam zurückgeht. Die Shockwirkung tritt uns nicht nur im Tierexperiment, sondern auch bei Operationen am Menschen entgegen, und kann manchmal bei letzterem direkt zum Tode führen.

Sherrington hat auf die Tatsache hingewiesen, daß die Shockwirkung, die nach Durchschneidung des Rückenmarkes auftritt, mehr die schwanzwärts als die kopfwärts gelegenen Teile des Nervensystems ergreift. Die schwanzwärts gelegenen verlieren ihre Erregbarkeit, die kopfwärts gelegenen Zentren bleiben erregbar und können vom Großhirn und der Medulla oblongata erregt werden. Im unteren Abschnitt werden von der Durchschneidung die motorischen Nervenstränge getroffen, welche die starke Erregung zu den motorischen Ganglienzellen hinleiten und diese unerregbar machen. Jetzt kann keine Erregung mehr zu den Erfolgsorganen geleitet werden, der untere Abschnitt des Rückenmarkes erscheint vollkommen gelähmt. Im kopfwärts gelegenen Abschnitt werden die sensiblen Stränge getroffen, die Shockwirkung macht die sensiblen Ganglien unerregbar, die motorischen Ganglien aber können vom Großhirn aus noch erregt werden.

4c) Die Bedeutung der Reaktionsgeschwindigkeit für das Hervortreten der für das Zentralnervensystem charakteristischen Eigenschaften. Wir haben im vorhergehenden eine Reihe von Eigenschaften kennen gelernt, durch welche sich das zentrale Nervensystem vom Nerven unterscheidet. Es ist uns gelungen, die Gesamtheit dieser Eigenschaften auf die geringere Reaktionsgeschwindigkeit der Erregungsvorgänge im Zentralnervensystem zurückzuführen. Es ist diese Tatsache bemerkenswert, da durch die Untersuchungen von Fröhlich gezeigt worden, daß alle Formen lebendiger Substanz, die eine geringe Reaktionsgeschwindigkeit besitzen, sich so wie das Zentralnervensystem verhalten. Die Krebsscherenmuskeln, die Muskeln der Blutgefäße lassen infolge ihrer geringen Reaktionsgeschwindigkeit eine Reihe der oben angeführten Eigenschaft wie Summation, Tonus, leichter Eintritt der Ermüdung, Hemmung deutlich erkennen. Die gleichen Eigenschaften lassen sich auch am peripheren Nerven zur Darstellung bringen, wenn wir seine Reaktionsgeschwindigkeit verlangsamen. Andererseits kennen wir auch Nervensysteme, welche aus Ganglienzellen mit großer Reaktionsgeschwindigkeit bestehen. Solchen Ganglienzellen begegnen wir z. B. in den Ganglien des sympathischen Nervensystems. An diesen sind die für das Zentralnervensystem charakteristischen Eigenschaften nur andeutungsweise vorhanden. Sie besitzen eine geringe Ermüdbarkeit, die Hemmungen lassen sich nicht nachweisen; sie reagieren nicht tonisch usw. Aber eine Tatsache tritt an allen Nervensystemen hervor: das ist die Tatsache, daß der ganglienzellenhaltige Teil des Nervensystems eine geringere Reaktionsgeschwindigkeit besitzt als der periphere Nerv; dadurch ist der periphere Nerv im besonderen Maße fähig, die Erregungen so weiter zu leiten, wie sie ihm vom zentralen Nervensystem zugehen.

Es liegen nun eine Reihe von Beobachtungen vor, welche uns veranlassen, die Verlangsamung der Erregungswelle im Zentralnervensystem in die Uebergangsstelle vom Endbäumchen eines Neurons zu den Dendriten eines anderen Neurons zu verlegen. Schon Ramon y Cajal hat auf die nahe Verwandtschaft der Nervenenden im Zentralnervensystem und in den Muskeln und Drüsen aufmerksam gemacht. Wir finden auch Uebergangsstellen von Nerv zu Muskel, deren Funktion sich mit der des Zentralnervensystems deckt. Wir wissen ferner durch den Versuch Bethes am Carcinus maenas, daß ein Neuron, dessen kernhaltiger Teil entfernt ist, noch funktionieren kann, wenn nur die Uebergangsstellen des sensiblen Nerven zu den Dendriten, der seines Kernes und eines Teiles seines Protoplasmas beraubten Zelle noch vorhanden ist. Wenn wir zur Annahme greifen, daß sich die Trennungsfläche zwischen zwei Neuronen wie eine Membran verhält, so würde nicht nur die Verzögerung, welche die Erregungswelle an dieser Stelle erfährt, verständlich werden, sondern auch die Irreziprozität der Erregungsleitung, die darin zum Ausdruck kommt, daß die Er-

Digitized by Google

regung nur in der Richtung von Nervenendbäumchen eines Neurons zu den Dendriten eines anderen Neurons und nicht in umgekehrter Richtung verläuft. Wir kennen jetzt tierische Membranen, welche für gewisse Ionen irreziprok permeabel sind, eine solche Membran könnten wir auch für die Irreziprozität der Erregungswelle verantwortlich machen. Eine solche Anschauung kommt am schärfsten in der Synapsentheorie Sherringtons zum Ausdruck. Als Synapse wird die Uebergangsstelle von einem Neuron zu einem anderen bezeichnet.

4d) Die Mechanismen, welche den Ablauf der Erregungen durch das Zentralnervensystem regeln. Wenn wir an einem mikroskopischen Präparat eines Nervensystems die große Zahl von Zellen und Fasern sehen, welche alle miteinander in Verbindung zu stehen scheinen, so drängt sich uns die Frage nach den Mechanismen auf, welche den gesetzmäßigen Ablauf der Erregungen durch dieses Gewirr von Zellen und Fasern beherrschen. Wir wollen dieselben im folgenden erörtern.

α) Die anatomischen Beziehungen. In erster Linie kommen in Betracht die anatomischen Beziehungen der Neurone zueinander, auf die wir schon oben hingewiesen haben. Die in gleichem Sinne arbeitenden motorischen Ganglienzellen sind zu Ganglien oder nervösen Zentren verbunden. Die motorischen Ganglien verschiedener Muskeln können durch die sensiblen Ganglien zu gemeinsamer Tätigkeit angeregt werden. Je mehr Ganglienzellstationen in einem Reflexbogen eingeschaltet sind, um so ausgedehntere Wirkungen können durch ihn vermittelt werden. Je mehr hintereinander geschaltete Zellstationen eine Erregung durchlaufen muß, um so stärker ist aber das Dekrement der Erregungswelle, um so mehr wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung verzögert und die Ermüdbarkeit gesteigert. Wenn wir ein Tier an einer Stelle seines Körpers reizen, so werden jene Muskelgruppen zuerst in Aktion treten, zu welchen die Erregungen mit dem geringsten Dekrement geleitet werden. Je länger der Reiz dauert, und je stärker er ist, um so mehr Muskeln des Körpers geraten in Erregung, bis schließlich die Gesamtmuskulatur von der Erregung ergriffen werden kann.

β) Das Prinzip der gemeinsamen Strecke. Für das Verständnis der gegenseitigen Beeinflussung mehrerer Reflexvorgänge ist die Entdeckung des Prinzips der gemeinsamen Strecke durch Sherrington von großer Bedeutung geworden. Wie jeder sensible Nerv und jedes sensible Neuron gewissermaßen einen Privatweg verstellt für die Erregungen, welche von den zugehörigen Sinneszellen kommen, so stellt das motorische Neuron einen letzten gemeinsamen Weg vor für die Erregungen, welche an den verschiedenen sensiblen Aufnahmestellen des Organismus ihren Ursprung nehmen. Hier können sich die Erregungen in ihrer Wirkung verstärken, sie können sich summieren oder scheinbar bahnen, hier spielen sich die für die koordinierten Bewegungen so wichtigen Hemmungen ab (siehe Fig. 3c). Es können aber auch Schaltneurone, die in einen Reflexbogen eingeschaltet sind, als gemeinsame Strecken fungieren, d. h. es kann in ihnen eine Interferenz der Erregungsfolgen stattfinden, welche von verschiedenen Sinnesorganen des Körpers kommen. Solche Schaltneurone befinden sich z. B. in der Großhirnrinde und im verlängerten Mark der Wirbeltiere.

γ) Synergistische und antagonistische Beziehung der Reflexbögen. Sherrington teilt die Reflexbögen, welche an einer Reflexkombination teilnehmen, in synergistische und antagonistische Reflexbögen ein. Wenn durch einen Reiz eine reflektorische Beugung des Kniegelenkes ausgelöst wird, so kommt diese Bewegung durch die Kontraktion einer Reihe von Muskeln zustande, welche wir als Beugemuskeln des Kniegelenkes bezeichnen, im Gegensatz zu den Streckmuskeln, welche an den gelenkig miteinander verbundenen Knochen so angreifen, daß sie eine Streckung des Kniegelenkes bewirken (s. Fig. 15). Alle Reflexbögen, deren Erregung eine Beugung des Kniegelenkes

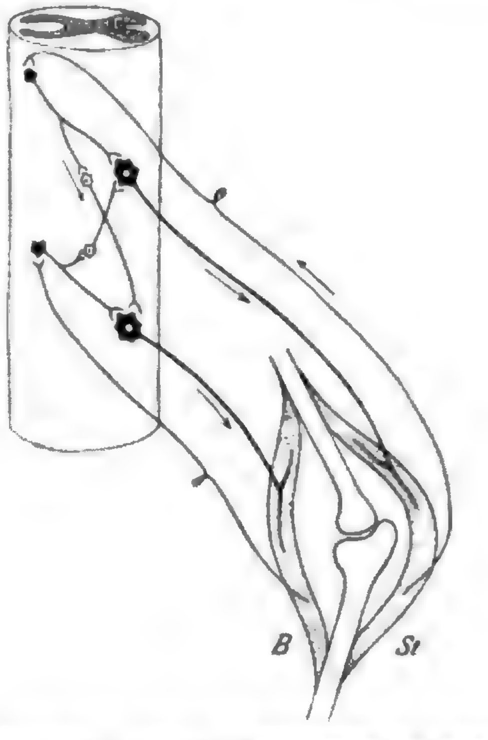


Fig. 15 zeigt die nervösen Beziehungen antagonistischer Muskeln. B Beugemuskel, St Streckmuskel.

Digitized by Google

herbeiführt, bezeichnen wir als synergistische, während die gesamten Reflexbögen, welche eine Streckung des Kniegelenkes vermitteln, und die untereinander synergistisch sind, als antagonistisch zu den Reflexbögen der Beugemuskeln bezeichnet werden.

Die Innervation der antagonistischen Muskeln geht in der Weise vor sich, daß bei Erregung der Beugemuskeln die Streckmuskeln gehemmt werden. Die Streckmuskeln werden dabei nicht passiv gedehnt. Das zeigen Versuche, bei welchen man mit Hilfe zweier Schreibhebel die Längenveränderungen beider Muskeln aufzeichnet. Wir sehen, wie Figur 16 zeigt, bei Kontraktion

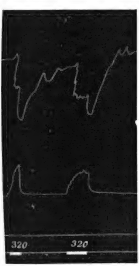


Fig. 16 zeigt die Innervation antagonistischer Muskeln. Bei Reizung des sensiblen Nerven kontrahieren sich die Streckmuskeln, die Beugemuskeln erschlaffen. Die Kurve der Beugemuskeln oben.

der Streckmuskeln eine Erschlaffung der Beugemuskeln eintreten.

Der antagonistischen Innervation kommt im Geschehen des gesamten Nervensystems eine große Bedeutung zu. Es stehen nicht nur die Muskeln eines Gelenkes in synergistischer und antagonistischer Beziehung, sondern diese Beziehungen können auch zwischen den Muskeln verschiedener Gelenke der gleichen Extremität, ja selbst zwischen den Muskeln der Gelenke verschiedener Extremitäten bestehen. Wie Figur 17 zeigt, herrschen zwischen den 4 Extremitäten eines Frosches, dessen Halsmark durchschnitten ist, antagonistische Beziehungen. Wenn

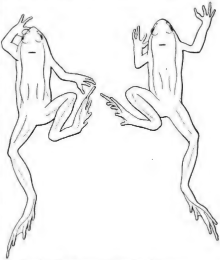


Fig. 17 zeigt die antagonistischen Beziehungen der Muskeln der 4 Extremitäten eines Frosches.

wir die eine Hinterextremität des Frosches strecken, so wird die gleichseitige vordere Extremität gleichfalls gestreckt, während die beiden Extremitäten der anderen Seite gebeugt werden. Es ist dies eine antagonistische Reflexkombination, welche z. B. für das Kriechen der Frösche von Bedeutung ist. Antagonistische Beziehungen finden wir auch am Nervensystem der Wirbellosen. Die Ring- und Längsmuskulatur des Mantels der Tintenschnecken, die Streck- und Beugemuskeln der Gelenke der Gliedertiere, der Schließ- und Oeffnungsmuskel der Krebsschere sind Beispiele antagonistischer Innervationen.

Es war möglich, am Rückenmark tiefer in den Mechanismus der antagonistischen Innervationen einzudringen, da die sensiblen Nerven getrennt von dem motorischen ins Rückenmark eintreten. Reizen wir z. B. einen sensiblen Nerven der hinteren Extremität, so erhalten wir Kontraktion der Beuger des Kniegelenkes, während die Streckmuskeln gehemmt werden. Reizen wir den benachbarten sensiblen Nerven, so kontrahieren sich die Streckmuskeln und die Beugemuskeln werden gehemmt. Die Erregungswelle erfährt auf dem Wege zu den moto-

Digitized by Google

rischen Ganglienzellen, welche gehemmt werden, ein starkes Dekrement, dadurch tritt in der gemeinsamen Strecke eine relative Ermüdung ein, welche, wie wir gehört haben, in nahem Zusammenhang mit den Hemmungsvorgängen steht. Es liegt die Annahme nahe, daß die Abschwächung der Erregung im hemmenden Teil des Reflexbogens durch Zwischenschaltung einer weiteren Ganglienzellstation bewirkt wird.

Allgemein müssen wir die antagonistische Innervation in folgender Weise beschreiben: Zu den motorischen Ganglienzellen der Beuge- und Streckmuskeln geht von den sensiblen Nerven je eine direkte Verbindung, welche ihre Erregung veranlaßt, zu den motorischen Ganglien gehen noch nervöse Verbindungen, vom Reflexbogen der Beugemuskeln zu den motorischen Ganglienzellen der Streckmuskeln, vom Reflexbogen der Streckmuskeln zu den motorischen Ganglienzellen der Beugemuskeln, welche die Hemmung der motorischen Ganglienzellen dadurch bewirken, daß sie dieselben nur schwach erregen. Wir können diese Erregung auch in Form einer kurzdauernden Kontraktion (Anfangstetanus) beobachten, welche dem Eintritt der Hemmung vorausgeht.

Figur 15 gibt eine schematische Uebersicht über die Anordnung der Nervenzellen, welche bei der antagonistischen Innervation beteiligt sind. Die Pfeile geben die Richtung der Erregungsleitung an.

Wir haben eine Doppelinnervation antagonistischer Zentren vor uns, der eine Nervenfortsatz hat erregende, der andere hemmende Wirkung. Einer analogen Doppelinnervation begegnen wir bei vielen antagonistischen Muskeln, nur daß dieselbe nicht an den motorischen Ganglienzellen, sondern an den Muskeln angreift, bei welchen sich die Uebergangsstelle vom Nerven wie die Synapse des motorischen Neurons verhält. Die Doppelinnervation ist in die Peripherie projiziert. Zu den Muskeln der Blutgefäße ziehen getrennte Nerven, welche eine Erweiterung oder Verengerung der Gefäße herbeiführen können. Wir finden die Doppelinnervation bei den Muskeln der Gliedertiere. Auch in diesem Fall müssen wir annehmen, daß Hemmung und Erregung nur von der Intensität der Erregung abhängt, in welche das Erfolgsorgan versetzt wird.

δ) Die Wiedererregung in der Peripherie. Ein wichtiger Faktor, welcher für den geordneten Ablauf der Erregungen im Zentralnervensystem und für die Koordination der Bewegungen von sehr großer Bedeutung ist, ist die Wiedererregung einzelner Teile des Zentralnervensystems von den tätigen Organen aus.

Wird ein Muskel reflektorisch zur Kontraktion gebracht, so werden durch die Bewegung seine sensiblen Nerven gereizt. Es werden ferner die sensiblen Nerven der durch den Muskel bewegten Gelenke, sowie der Haut, welche über den Gelenken liegt, gereizt. Diese Erregungen können, indem sie auf die beim Reflexakt beteiligten Zentren wirken, je nach der Stärke ihrer Wirkung ein Andauern des Reflexes, eine Verstärkung oder Hemmung des Reflexaktes herbeiführen.

aa) Reflextonus. Wir haben oben schon bei Besprechung des Reflextonus einen Vorgang kennen gelernt, für dessen Zustandekommen die Wiedererregung in der Peripherie einen wichtigen Faktor vorstellt. Dasselbe gilt von den Reflexkrämpfen, welche auftreten, wenn die Erregbarkeit des Zentralnervensystems gesteigert wird. Diese kann durch eine Temperatursteigerung oder durch chemische Einwirkungen hervorgerufen werden. Die durch Gifte veranlaßten Reflexkrämpfe sind dadurch interessant, daß sie verschieden aussehen, je nach der Art der Ganglienzellen, welche von der erregbarkeitssteigernden Wirkung des Giftes betroffen werden. Das Strychnin steigert die Erregbarkeit der sensiblen Ganglien, welche der Ausbreitung der Erregung über größere Abschnitte des Nervensystems und der Koordination der Reflexerregungen dienen. Die Strychninkrämpfe kommen in andauernden tetanischen Streckkrämpfen zum Ausdruck, die durch die Wiedererregung in der Peripherie so lange aufrecht erhalten werden, bis eine Ermüdung der sensiblen Ganglienzellen eintritt (Baglioni). Die Karbolsäure dagegen steigert, wie Baglioni gezeigt hat, die Erregbarkeit der motorischen Ganglienzellen. Zu diesen gelangen die Erregungen erst, nachdem sie in den sensiblen Ganglienzellen eine gewisse Ordnung erfahren haben, infolgedessen lassen die Karbolsäurekrämpfe eine gewisse Koordination der Bewegung noch erkennen.

Ein klassisches Beispiel der Wiedererregung in der Peripherie bietet die von Hering und Breuer entdeckte Selbststeuerung der Atmung durch die Nervi vagi. Durch die Ausdehnung der Lunge bei der Inspiration werden die sensiblen Enden des Lungenvagus stark gereizt und dadurch die motorischen Ganglien, welche die Ausatmungsmuskeln innervieren, erregt, während die der Einatmungsmuskeln gehemmt werden. Durch die schwache Reizung der sensiblen Vagusenden in der durch die Ausatmung zusammengefallenen Lunge werden die motorischen Ganglien der Einatmungsmuskeln erregt, während die der Ausatmungsmuskeln gehemmt werden. Bei der Selbststeuerung der Atmung ist außerdem noch die Wieder-

Digitized by Google

erregung der sensiblen Nerven der Atemmuskeln und der Haut des Brustkorbes und der Rippengelenke enge beteiligt.

bb) Reflexverkettung. Selbst einfachere reflektorische Bewegungen kommen nicht nur durch eine gleichzeitige Beteiligung mehrerer Muskeln zustande, sondern die an der Reflexbewegung beteiligten Reflexbögen treten auch hintereinander in Aktion. Es stellen also selbst einfache Reflexbewegungen eine Kette von Reflexen vor. Die Reflexketten lassen sich besonders schön am Nervensystem der Wirbellosen untersuchen. Namentlich tritt die Reflexverkettung bei einem Bewegungsmodus besonders deutlich hervor, welchen wir als Peristaltik bezeichnen. Die Bewegung der Regenwürmer ist ein ausgezeichnetes Beispiel für eine peristaltische Bewegung, die den Bewegungsmodus aller muskulösen Hohlorgane, wie Darm, Herz, Uterus, darstellt. Wenn wir die Bewegung des Regenwurms beobachten, so sehen wir an einer Stelle durch die Tätigkeit der Ringmuskulatur eine Einschnürung entstehen, die von vorn nach hinten über den Tierkörper abläuft. Dem Einschnürungsring geht eine Kontraktion der Längsmuskulatur des Regenwurmkörpers vorher, die eine Verdickung und Verkürzung des Körpers herbeiführt. Indem diese Wellen über den Körper des Regenwurms ablaufen, kommt es zu den schlängelnden Vorwärtsbewegungen des Tieres. Für die peristaltische Bewegung des Regenwurms hat insbesondere Biedermann den Nachweis erbracht, daß die Kontraktionswellen, welche über den Regenwurm ablaufen, dadurch zustande kommen, daß ein in Kontraktion befindlicher Querschnitt des Tierkörpers den benachbarten zur Kontraktion auf reflektorischem Wege anregt. Das gleiche Resultat ergaben auch die Untersuchungen der peristaltischen Bewegungen des Mantellappens der Aplysien, welche gleichfalls der Fortbewegung des Tieres dienen. Hier wird die Peristaltik nur durch das Pedalganglion vermittelt, von welchem eine Reihe langer Nerven zur Muskulatur des Mantellappens hinführt. Durchschneidet man den Mantellappen zwischen zwei Nerven, so geht die Kontraktionswelle einfach über die Schnittstelle hinweg, als wenn sie nicht vorhanden wäre. Wenn wir aber dazu noch einen Nerven durchschneiden, welcher in der Gegend des Einschnittes liegt, so geht die Kontraktionswelle nicht mehr über den Einschnitt hinweg. Jedes Glied dieser Reflexverkettung wird durch den vorhergehenden Reflex ausgelöst. Die Analyse der peristaltischen Bewegungen ist deshalb so wichtig, weil die Peristaltik eine im Tierreich sehr verbreitete Bewegungsform ist und in naher Verwandtschaft steht zu den Schwimmbewegungen der Fische, dem Schlängeln der Schlange, dem Fliegen der Vögel, schließlich zu dem Laufen, Springen und Gehen der vier- und zweifüßigen Tiere. Bei allen diesen Bewegungen ist die Wiedererregung in der Peripherie durch die tätigen Organe von großer Wichtigkeit. Die Bedeutung der Wiedererregung wird uns erst klar, wenn wir die Störung der Bewegungen nach Durchschneidung der sensiblen Nerven der bewegten Extremitäten beobachten. Eine solche Störung findet z. B. bei der Rückenmarkschwindsucht (Tabes dorsalis) der Tabetiker statt. Der Tabetiker ist nicht imstande, geordnete Bewegungen auszuführen. Beim Gehen findet ein Schleudern der Gliedmaßen statt. Der Tabetiker kann aber gut gehen lernen, wenn er seine Bewegungen durch die Augen kontrolliert. Er führt hier eine neue Wiedererregung ein, welche den Ablauf der Reflexverkettung reguliert.

Die Reflexverkettung erfährt auch eine Störung, oder die Reflexkette wird unterbrochen, wenn ein Glied derselben gehemmt wird. Auch in diesem Falle fehlt die Wiedererregung in der Peripherie. Die Wiedererregung in der Peripherie ist demnach einer der wichtigsten Faktoren für den Ablauf der Erregungen auf bestimmten Wegen des Zentralnervensystems.

cc) Die rhythmischen Reflexe. Die Wiedererregung in der Peripherie ist auch enge beteiligt an dem Zustandekommen der rhythmischen Reflexe. Denn die rhythmischen Reflexe sind nichts anderes als eine rhythmisch wiederkehrende Reflexverkettung. Einen solchen Fall haben wir schon in der wichtigen Selbststeuerung der Atmung durch die sensiblen Atemnerven kennen gelernt. Solche rhythmischen Reflexverkettungen sind die Lauf-, Geh- und Schwimmbewegungen. Hierher gehört der rhythmische Kratzreflex, welcher bei Hunden mit durchschnittenem Rückenmark bei Reizung ihrer Rückenhaut auftritt. Für diesen rhythmischen Reflex hat Magnus den Nachweis gebracht, daß er fortfällt, wenn die sensiblen Nerven der am Reflex beteiligten Muskeln ausgeschaltet worden sind. Für alle Reflexverkettungen ist es von Bedeutung, daß diejenigen Reflexbögen, welche zuerst in Aktion treten, eine höhere Erregbarkeit aufweisen. Sie sprechen zuerst auf den Reiz an. Es erfolgt ein Reflex und die anderen Glieder der Reflexketten schließen sich an, indem jedes vorhergehende Reflexglied das nachfolgende anregt. Eine solche höhere Erregbarkeit konnte tatsächlich für die vorderen Abschnitte des Mantellappens der Aplysien nachgewiesen werden.

dd) Das Ausschleifen der Bahnen. Verworn hat mit besonderem Nachdruck darauf aufmerksam gemacht, daß die ner-

Digitized by Google

vösen Zellelemente, genau wie jede andere Form lebendiger Substanz, bei häufiger Inanspruchnahme eine Zunahme ihrer Masse, eine Arbeitshypertrophie, erfahren. Verworn wies auf die naheliegende Annahme hin, daß die Massenzunahme mit einer gesteigerten Erregungsintensität einhergehen könne, welche es mit sich bringe, daß die Erregung besonders leicht bestimmte Reflexbögen durchläuft. Diese Art der Bahnung, welche auch ein Ausschleifen von nervösen Bahnen bezeichnet wird, ist von den scheinbaren Bahnungen zu trennen, auf welche oben ausführlich eingegangen worden ist. Verworn hat die wirklichen Bahnungen in nahe Beziehungen zu der Gedächtnisfunktion des Zentralnervensystems gebracht.

Fassen wir die Faktoren zusammen, welche den gesetzmäßigen Ablauf der Erregungen durch die große Masse von Zellen eines Nervensystems beherrschen, so sind es in erster Linie die anatomischen Beziehungen zwischen den einzelnen Neuronen, zweitens die Funktion der motorischen Neurone als gemeinsame Strecke, drittens die synergistischen und antagonistischen Beziehungen der Reflexbögen, welche in der weitverbreiteten Doppelinnervation antagonistischer Muskeln und Zentren zum Ausdruck kommt, viertens die Wiedererregung in der Peripherie durch die tätigen Organe selbst, durch deren Mitwirkung die tonischen Reflexe, die Reflexketten und die rhythmischen Reflexe zustande kommen; fünftens die wirkliche Bahnung oder das Ausschleifen von Bahnen, welche bewirkt, daß die Erregungen besonders leicht auf bestimmten Bahnen ablaufen.

Literatur. **W. Waldeyer**, *Ueber einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des Zentralnervensystems. Deutsche mediz. Wochenschrift. 1891.* — **Fr. Nissl**, *Die Neuronentheorie und ihre Anhänger. Jena 1903.* — **St. Apáthy**, *Das leitende Element des Nervensystems und seine topographischen Beziehungen zu den Zellen. Mitteilungen aus der zoologischen Station zu Neapel Bd. 12, 1897.* — **M. Verworn**, *Das Neuron in Anatomie und Physiologie. Jena 1900.* — **A. Bethe**, *Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Leipzig 1903.* — **M. Cremer**, *Allgemeine Physiologie der Nerven. Nagels Handbuch der Physiologie, Bd. 4, 1909.* — **O. Langendorff**, *Physiologie des Rücken- und Kopfmarkes. Nagels Handbuch der Physiologie, Bd. IV, 1909.* — **Ch. S. Sherrington**, *The integrative action of the nervous system. London 1906.* — **R. G. Harrison**, *Embryonic transplantation and development of the nervous system. The anatomical Record. Vol. 2, 1908.* — **M. Heidenhain**, *Plasma und Zelle. Jena 1911.* — **F. B. Hofmann**, *Gibt es in der Muskulatur der Mollusken periphere, kontinuierlich leitende Nervennetze bei Abwesenheit von Ganglienzellen? Pflügers Archiv, Bd. 118, 1907.* — **Fr. W. Fröhlich**, *Experimentelle Studien am Nervensystem der Mollusken. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 10 u. 11, 1911.* — **S. Baglioni**, *Physiologische Differenzierung verschiedener Mechanismen des Zentralnervensystems. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 5, 1905.* — **M. Verworn**, *Allgemeine Physiologie. Jena 1909.* — **S. Baglioni**, *Das Sauerstoffbedürfnis des Zentralnervensystems bei Seetieren. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 5, 1905.* — **H. Winterstein**, *Wärmelähmung und Narkose. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 5, 1905.* — **M. Verworn**, *Ueber Narkose. Deutsche mediz. Wochenschrift, 1909.* — **Derselbe**, *Die zellularphysiologische Grundlage des Gedächtnisses. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. VI, 1907.* — **H. Piper**, *Ueber die Leitungsgeschwindigkeit in den markhaltigen menschlichen Nerven. Pflügers Archiv, Bd. 124, 1908; 127, 1909.* — **Fr. W. Fröhlich und H. Boruttau**, *Erregbarkeit und Leitfähigkeit der Nerven. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 4, 1904.* — **W. Nernst**, *Zur Theorie des elektrischen Reizes. Pflügers Archiv, Bd. 122, 1908.* — **S. Exner**, *Entwurf zu einer physiologischen Erklärung der psychischen Erscheinungen.* — **Fr. W. Fröhlich**, *Beiträge zur Analyse der Reflexfunktion. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 9, 1909.* — **H. Ishikawa**, *Ueber die scheinbare Bahnung. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 10, 1910.* — **Fr. W. Fröhlich**, *Die rhythmische Natur der Lebensvorgänge. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 13, 1912.* — **P. Hoffmann**, *Ueber die Innervation der reflektorisch ausgelösten Kontraktionen beim normalen und strychninvergifteten Frosch. Archiv für Physiologie, 1910, Supd. 1911.* — **S. Garten**, *Der durch den konstanten Strom ausgelöste Erregungsvorgang ist diskontinuierlicher Natur. Berichte der mathem.-physikalischen Klasse der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig, Bd. 60, 1908.* — **H. Piper**, *Weitere Untersuchungen über die natürliche Innervierung von Muskelkontraktionen. Archiv für Physiologie, 1910.* — **S. Garten**, *Beiträge zur Physiologie der marklosen Nerven nach Untersuchungen am Riechnerven des Hechtes. Jena 1903.* — **Fr. W. Fröhlich**, *Die Ermüdung des markhaltigen Nerven. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 3, 1904.* — **W. Thörner**, *Weitere Untersuchungen über die Ermüdung der markhaltigen Nerven. Zeitschrift für allgemeine Physiologie, Bd. 10, 1910.* — **M. Verworn**, *Ermüdung, Erschöpfung und Erholung der nervösen Centra des Rückenmarkes. Archiv für Physiologie, Supbd. 1900.* — **Fr. W. Fröhlich**, *Der Mechanismus der nervösen Hemmungsvorgänge. Medizinisch-Naturwissenschaftliches Archiv, Bd 1, 1907.*

Fr. W. Fröhlich.

Neumann
Franz Ernst.

Geboren am 11. September 1798 in Joachimsthal in der Uckermark, gestorben am 23. Mai 1898 in Königsberg i. Pr. Neumann wuchs in sehr bescheidenen Verhältnissen auf. Noch vor

Digitized by Google

Absolvierung der Schule — er besuchte das Werdersche Gymnasium in Berlin — machte er den Freiheitskrieg 1815 mit und wurde bei Ligny schwer verwundet. Nach Beendigung des Krieges brachte er seine Gymnasialstudien zum Abschluß, studierte dann zunächst Theologie, ging aber bald zur Physik und Mineralogie über, deren Studium er in Berlin und Jena 1817 bis 1820 oblag. Von seinen Lehrern hat der Mineraloge Weiß in Berlin nachhaltigen Einfluß auf ihn ausgeübt. 1826 habilitierte Neumann sich in Königsberg, und dieser Universität ist er bis an sein Lebensende treu geblieben, 1828 wurde er dort zum außerordentlichen, 1829 zum ordentlichen Professor für Physik und Mineralogie ernannt. Sein Interesse wandte sich zunächst der Optik zu; 1835 veröffentlichte er die Elastizitätstheorie des Lichts und die Theorie der Reflexion des Lichts an Kristallen. Nach Abschluß einer großen 1841 erschienenen Arbeit: „Die Gesetze der Doppelbrechung des Lichts in komprimierten oder ungleich erwärmten unkristallinischen Körpern" verläßt er im wesentlichen das Gebiet der Optik, um sich der Elektrodynamik zuzuwenden, 1845 veröffentlicht er seine Untersuchungen über das elektrodynamische Potential und das Gesetz der induzierten Ströme, 1847 die Theorie der magnetischen Induktion. Auch auf dem Gebiet der Wärme ist Neumann hervorgetreten; in weiteren Kreisen bekannt ist die von ihm und Bessel 1825 angegebene Methode zur Eichung und Kalibrierung der Thermometer, 1862 veröffentlicht er seine Methoden und Beobachtungen zur Bestimmung der Wärmeleitungsfähigkeit fester Körper. Mehr auf mathematischem Gebiet liegen seine Beiträge zur Theorie der Kugelfunktionen. Schüler aus allen Teilen Deutschlands sammelten sich um Neumann, der wie als Gelehrter so auch als Mensch eine hervorragende und vorbildliche Erscheinung war. Sowohl durch seine Arbeiten und Vorlesungen, die sich durch Klarheit, Knappheit und Ideenreichtum auszeichneten, wie durch seine Schule hat dieser Altmeister der mathematischen Physik einen nachhaltigen Einfluß auf die Entwickelung seiner Wissenschaft ausgeübt. Er war Mitglied zahlreicher gelehrter Gesellschaften und Inhaber einer großen Reihe von Auszeichnungen.

Literatur. ***P. Volkmann****, Fr. N., ein Beitrag zur Geschichte der Wissenschaft, Leipzig 1896.* — ***Derselbe****, Fr. N. als Experimentator. Physik. Zeitschr., 11. Jahrg. 1910, S. 932—937.* — ***Luise Neumann****, Fr. N., Tübingen und Leipzig 1904.*

E. Drude.

Neumayr
Melchior.

Er wurde am 24. Oktober 1845 in München als Sohn des späteren bayrischen Staatsministers Max von Neumayr geboren. Nach Absolvierung des Gymnasiums bezog er im Herbst 1863 die Universität seiner Vaterstadt, um sich dem in seiner Familie traditionellen Studium der Jurisprudenz zu widmen. Bald erkannte er, daß dies Studium ihm keine Befriedigung gewähren konnte. Da er immer Interesse für Naturwissenschaften gezeigt hatte, gelang es ihm, die Zustimmung seines Vaters zu diesem Studium zu erhalten. Seit dem Sommersemester 1864 war er ein eifriger Student der Geologie und Paläontologie. Im Herbst 1865 ging er nach Heidelberg, dann wieder nach München. Nach seiner Promotion beteiligte er sich von 1868 bis 1872 anfangs als freiwilliger Hilfsarbeiter, später als Hilfsgeologe an den Arbeiten der Wiener geologischen Reichsanstalt in Ungarn, Siebenbürgen und Nordtirol. 1872 habilitierte er sich in Heidelberg, erhielt bereits 1873 einen Ruf als außerordentlicher Professor der Paläontologie nach Wien, dem er Folge leistete. Nach sechsjähriger Lehrtätigkeit wurde er 1879 ordentlicher Professor und verheiratete sich mit Paula Sueß, der Tochter seines Freundes und Kollegen. Mitten im Schaffen starb er am 29. Januar 1890 an einem Herzleiden, das er sich durch Ueberarbeitung zugezogen hatte.

Wiederholte wissenschaftliche Reisen führten ihn durch die Karpathen, die Alpen, nach Italien, Dalmatien, den Ländern der Balkanhalbinsel und nach Kleinasien. In eingehender Weise hat er sich vor allem mit der Juraformation beschäftigt. So schrieb er 1885 „Die geographische Verbreitung der Juraformation" (Denkschr. d. math.-naturw. Cl. d. k. k. Akad. Wien). 1875 versuchte er eine neue Einteilung der Ammoniten zu geben, indem er die nach seiner Meinung nächstverwandten und direkt voneinander abstammenden Formen zu engeren oder weiteren Gruppen zusammenfaßte. Sowohl in seiner „Erdgeschichte" (Leipzig 1885 bis 1887 2 Bde.), als auch besonders in seinen „Stämmen des Tierreichs" (Wien und Prag 1889) beleuchtete er in geistvoller Weise die genealogischen Verhältnisse der fossilen Organismen. Das zuletztgenannte, leider unvollendet gebliebene Werk, das nur die wirbellosen Tiere behandelt, wird gleichwohl für Zoologie und Paläontologie einen bleibenden Wert behalten.

Literatur. ***Toula****, Zur Erinnerung an Melchior Neumayr. Wien 1890.* — ***Benecke****, Melchior Neumayr, Nekrolog im N. J. f. Min. usw., 1890, I.* — ***Poggendorff's*** *biog.-lit. Handwörterbuch 3, II, 965; 4, II, 1068.*

O. Marschall.

Neutralisation

heißt die Aufhebung der sauren Reaktion einer Säurelösung durch Alkali oder die Aufhebung der alkalischen Reaktion einer Basenlösung durch Säure. Der dabei sich abspielende wesentliche Vorgang ist die Bildung von Wasser aus den die charakteristischen Reaktionen bedingenden $H^{\cdot}$-Ionen der Säure und OH'-Ionen der Base (vgl. die Artikel „Säuren", „Basen", „Ionen" usw.)

Digitized by Google

Newton
Isaac.

Geboren am 5. Januar 1643 in Woolsthorpe in Lincoln, gestorben am 31. März 1727 auf seinem Landgut in Kensington. Er war der Sohn eines Gutsbesitzers, der schon einige Monate nach der Vermählung starb. Bei der Wiederverheiratung seiner Mutter wurde der Knabe seiner Großmutter übergeben. Erst im 12. Jahr kam er in die Schule des nahen Städtchens Grantham, wo er anfangs für einen wenig befähigten und wenig fleißigen Schüler galt. Er beschäftigte sich indessen gern mit mechanischen Spielereien und konstruierte Windmühlen, Sonnenuhren usw. Nachdem seine Mutter wieder verwitwet war, kehrte er zu ihr zurück, um die Bewirtschaftung des Landgutes zu übernehmen, doch zeigte er sich dafür wenig tauglich. Auf Veranlassung eines Onkels wurde Newton 1660, im 18. Jahr, nach Cambridge gebracht und trat in das Trinity College ein. Obgleich ihm fast alle Vorkenntnisse fehlten, wandte er sich sehr bald der Geometrie Descartes' und den Werken Keplers zu und beherrschte in kurzer Zeit das ganze Gebiet der Mathematik. Schon dem Jahre 1665 gehört die Entdeckung der „Fluxionslehre" an. Erst als 18 Jahre später Leibniz dieselbe Entdeckung in anderer Form machte — jetzt unter dem Namen Differentialrechnung bekannt —, machte Newton seinem Lehrer Mitteilung von seiner Methode. Er geriet darüber mit Leibniz in einen Prioritätsstreit; heute steht fest, daß jeder der beiden Gelehrten unabhängig von dem anderen seine Methode gefunden hat. 1669 entsagte sein Lehrer Barrow zu seinen Gunsten, Newton wurde Professor der Mathematik in Cambridge und hielt in den Jahren 1669 bis 1671 Vorlesungen über Optik. Aus dieser Zeit datiert die Entdeckung der verschiedenen Brechbarkeit der einzelnen Farben. 1671 konstruierte er sein Teleskop und legte es der Royal Society auf deren Veranlassung vor und schon am 11. Januar 1672 ernannte sie ihn zu ihrem Mitglied. Bereits am 6. Februar desselben Jahres übersandte Newton der Royal Society seine Abhandlung über die Entdeckung der Dispersion des Lichts und die Erklärung der Farben; die Anfänge dieser Ideen datiert er selbst in das Jahr 1666 zurück. Seine Arbeit „Discourse on light and colours" verwickelte ihn in einen erbitterten Streit mit Hooke, infolgedessen er keine optischen Probleme mehr angriff bis zu Hookes Tod. 1704 gab er seine gesammelten optischen Arbeiten unter dem Titel: „Optics, or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light" heraus. Eine Stellungnahme zu der Frage nach dem Wesen des Lichts lehnt Newton ab, doch benutzte er später die Emissionstheorie als bequemes Hilfsmittel. Newtons größte Entdeckung ist die des Gravitationsgesetzes. Schon 1666 soll ein fallender Apfel die Veranlassung zu diesen Ideen gewesen sein; wahrscheinlich ist, daß Borellis und Hookes Spekulationen über Attraktion ihn angeregt haben; Newton erkennt die Verdienste dieser Gelehrten an, nimmt aber für sich den mathematisch genauen Nachweis der Gravitation und die Erkenntnis der Identität der Anziehungskraft der Erde mit der Gravitation der Himmelskörper in Anspruch. In seinem großen Hauptwerk: Philosophiae naturalis principia mathematica, erschienen 1686, das sich nicht auf die Mechanik der Himmelsbewegung beschränkt, sondern ein umfassendes Lehrbuch der mathematischen Physik darstellt, läßt Newton die Frage nach der causa gravitatis offen; später füllt er diese Lücke mit der Hypothese der Fernwirkung, ohne aber ausdrücklich zu dieser heiß umstrittenen Frage Stellung zu nehmen. Seine Privatverhältnisse blieben dürftig, bis sein Schüler Lord Montague ihm die Stelle eines königlichen Münzwardeins, später des königlichen Münzmeisters verschaffte. 1703 legte er die Professur in Cambridge nieder und lebte meist in London. Er war nicht verheiratet, eine Nichte leitete sein Hauswesen. In den letzten Jahren beschäftigten ihn theologische Spekulationen. Seine Leiche wurde in der Westminsterabtei beigesetzt.

Literatur. ***Brewster,*** *Memoirs of the life, writings and discoveries of Sir J. Newton. Edinburg 1860, II. Aufl.* — ***Rosenberger,*** *Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien.* — ***Rosenberger,*** *Geschichte der Physik, II, S. 188—202 und 223—245.*

E. Drude.

Nicholson
William.

Geboren 1753 in London, gestorben am 21. Mai 1815 ebenda. Er war nacheinander Beamter der East-India-Company, Geschäftsreisender für Wedgewood, Schulvorsteher, Zivilingenieur und Literat. 1800 begann er einen Kurs von öffentlichen Vorlesungen über Naturphilosophie und Chemie. Nicholson entdeckte die Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom und konstruierte die Senkwage zur Bestimmung spezifischer Gewichte, die nach ihm benannt wurde. Von 1768 bis 1813 redigierte er das Journal of natural philosophy, chemistry and arts.

E. Drude.

Nichtmetalle.

1. Begriff und allgemeine Eigenschaften. 2. Darstellungsmethoden. 3. Verbindungen mit Elektronen. 4. Verbindungen mit Metallen und Nichtmetallen.

1. Begriff und allgemeine Eigenschaften der Nichtmetalle. In dem Worte Nichtmetall soll der Gegensatz zu Metall (s. den Artikel „Metalle") bezeichnet werden, doch muß betont werden, daß eine scharfe Grenze zwischen Metallen und Nichtmetallen (auch Metalloide genannt) nicht gezogen werden kann, da manche Metalle auch nichtmetallische Eigenschaften besitzen und umgekehrt. Im allgemeinen kann man unter dem Begriffe Nichtmetalle diejenigen Ele-

Digitized by Google

mente (s. den Artikel „Chemische Elemente") zusammenfassen, welche ein sehr geringes Leitungsvermögen für Wärme und Elektrizität besitzen und im Sinne der elektromagnetischen Lichttheorie demgemäß auch in viel dickeren Schichten lichtdurchlässig sind, wie die Metalle. Ferner sind die Nichtmetalle nicht imstande mit Metallen isomorphe Gemische zu bilden; wir kennen kein nichtmetallisches Lösungsmittel für Metalle, und die Nichtmetalle reagieren fast durchgängig unter chemischer Einwirkung mit den Metallen. Man hat die Nichtmetalle auch als säurebildende Elemente bezeichnet, und in der Tat sind sie vorzugsweise befähigt, entweder einfache oder zusammengesetzte Anionen (negative Ionen) zu bilden (siehe unten 3 und den Artikel „Ionen"). Auch das periodische System der Elemente (s. den Artikel „Chemische Elemente") läßt die Zusammengehörigkeit der Nichtmetalle erkennen, zwar weniger die Anordnung von Mendelejeff und Lothar Meyer, wohl aber die von Waker und die von Staigmüller.

Zu den Nichtmetallen gehören die Edelgase: Helium (He), Neon (Ne), Argon (A), Krypton (Kr), Xenon (X); dann Bor (B); Kohlenstoff (C), Silicium (Si); Stickstoff (N), Phosphor (P), Arsen (As); Sauerstoff (O), Schwefel (S), Selen (Se), Tellur (Te); Fluor (F), Chlor (Cl), Brom (Br), Jod (J). Der Wasserstoff, welcher ja auch im periodischen Systeme eine Sonderstellung einnimmt, besitzt sowohl metallische als auch nichtmetallische Eigenschaften. Aber auch B, C, Si, P, As, S, Se, Te und J haben amphotere (Zwitter-) Natur (vgl. hierüber besonders Abegg, Zschr. anorg. Chem. 39).

2. Darstellungsmethoden der Nichtmetalle. Allgemeingültige Prinzipien der Darstellung der Nichtmetalle lassen sich nicht aufstellen. Während sämtliche Metalle durch Reduktionsreaktionen (Verlust positiver elektrischer Ladungen) gewonnen werden, kommen für die Darstellung der Nichtmetalle sowohl Reduktionsreaktionen (B, C, Si, P, As, S, Se, Te) als Oxydationsreaktionen, d. i. Verlust negativer elektrischer Ladungen (F, Cl, Br, J) in Frage. Die meisten gasförmigen Nichtmetalle (alle mit Ausnahmen von F und Cl) sowie Schwefel und Kohlenstoff kommen auch in unverbundenem Zustande in der Natur vor. Die Gase lassen sich aus ihren Gemischen durch physikalische Methoden (Verschiedenheiten der Siedepunkte) isolieren, die Anwendung dieser Methoden hat geradezu zur Entdeckung einzelner Edelgase in der Erdatmosphäre durch Lord Rayleigh und Ramsay geführt.

3. Verbindungen der Nichtmetalle mit Elektronen. Die Neigung sich mit Elektronen zu vereinigen, oder was dasselbe ist, die Neigung Ionen zu bilden, auch Haftintensität oder Elektroaffinität (s. die Artikel „Jonen" und „Valenzlehre") genannt, ist bei den Nichtmetallen verschieden groß. In der ersten Horizontalreihe des periodischen Systems der Elemente nimmt die Neigung zur Aufnahme von positiven Ladungen vom Li anfangend ab und die Neigung zur Aufnahme negativer Ladungen zu, so daß schließlich F gar nicht mehr imstande ist, positive Ladungen aufzunehmen, also die stärkste negative Elektroaffinität besitzt. Geht man aber in einer Vertikalreihe abwärts, so nimmt die Affinität zur negativen Ladung (allerdings in viel geringerem Grade) ab, so daß z. B. von den Halogenen J die geringste negative Elektroaffinität besitzt. Bekanntlich nimmt die Elektroaffinität der Elemente mit steigendem Atomvolumen zu, so daß die Alkalimetalle, die in der Kurve der Atomvolumina[1]) Maxima einnehmen, die größte Haftintensität aufweisen. Kein einziges Nichtmetall kommt ihnen an Größe der Ionenbildungstendenz gleich; denn die negative Elektroaffinität ist entsprechend den Eigenschaften des negativen Elektrons erheblich schwächer als die positive. Am stärksten ausgeprägt ist sie noch bei den Halogenen. Im ersten Minimum der Atomvolumenkurve finden wir dann die Nichtmetalle B, C; sehr nahe einem Minimum steht Si, nicht allzu entfernt auch N, P, As. B und C besitzen also die geringste Haftintensität, hier können nur Ionen unter Zutritt anderer Elemente, also unter Komplexbildung im weiteren Sinne des Wortes, gebildet werden. Höhere Atomvolumina besitzen zwar die Elemente der Sauerstoffgruppe: O, S, Se, Te, aber auch sie haben zu schwache Elektroaffinität zur Bildung einfacher Anionen und müssen erst durch Zutritt anderer Elemente Verstärkung erfahren.

4. Verbindungen der Nichtmetalle mit Metallen und Nichtmetallen. In engster Beziehung zur Elektroaffinität der Elemente steht ihre Fähigkeit mit anderen Elementen sich zu verbinden. Die Abeggsche Valenztheorie gibt uns ein Mittel an die Hand, allgemeine Gesichtspunkte auch hier aufzustellen. Nach dieser Theorie besitzen alle Elemente 8 (teils elektropositive, teils elektronegative Valenzen, welche zum Teil Normal-, zum Teil Kontravalenzen genannt werden. Die Normalvalenzen sind die an Zahl geringeren und deshalb stärkeren, sie bestimmen durch ihre positive oder negative Natur den Charakter des Elementes; nur die Elemente der Kohlenstoffgruppe betätigen sich mit je 4 Normal- und Kontravalenzen, woher ihre Grenzstellung stammt.

[1]) Lothar Meyer (1870). Die Atomvolumkurve siehe im Artikel „Chemische Elemente" S. 444.

Digitized by Google

Viele Elemente können in verschiedenen Valenz-(Wertigkeits-)Stufen auftreten; mit welchen seiner beiden Elektrovalenzen und mit wie vielen sich ein Element betätigt, hängt von dem Polaritätsunterschiede (ungefähr der Entfernung der Stellung im periodischen Systeme entsprechend) und von der Elektroaffinität seines Verbindungsgenossen ab. Die Nichtmetalle besitzen negative Normalvalenzen und betätigen dieselben stets unveränderlich. Die entstehenden Verbindungen sind um so beständiger, je größer der Polaritätsunterschied der sie bildenden Elemente ist. Die Alkalihalogenverbindungen sind hiernach die beständigsten Verbindungen. Während entsprechend der geringeren Affinität des negativen Elektrons zur Materie Nichtmetalle untereinander durch teilweise Betätigung ihrer Kontravalenzen relativ beständige Verbindungen zu bilden imstande sind, bleiben die Kontravalenzen der positivsten Metalle im allgemeinen latent (s. hierzu den Artikel „Legierungen".

Literatur. ***W. Nernst***, *Theoretische Chemie Stuttgart.* — ***Waker***, *Chem. News* ***63***, *251 (1891).* — ***Staigmüller***, *Zeitschr. physik. Chem.* ***39***, *243 (1902).* — ***Abegg und Bodländer***, *Zeitschr. anorg. Chem.* ***20***, *453 (1899).* — ***Abegg***, *Zeitschr. anorg. Chemie* ***39***, *330 (1904).*

A. Lottermoser.

Nicol
William.

Geboren im Jahre 1768; gestorben am 2. September 1851 zu Edinburgh. Aus der Geschichte seiner Jugend ist nichts bekannt. Nachdem er längere Zeit als naturwissenschaftlicher-philosophischer Wanderredner Erfahrungen gesammelt hatte, ließ er sich in Edinburgh als Lehrer der Physik nieder. Wir verdanken ihm vor allem die Erfindung eines Polarisationsinstrumentes, des nach ihm benannten Kalkspatprismas, und damit zugleich die Konstruktion des Polarisationsmikroskopes. Bekannt sind außer seinen Arbeiten über Flüssigkeitseinschlüsse in Kristallen vor allem seine mikroskopischen Untersuchungen von fossilen Hölzern, bei denen er zuerst die Methode der Betrachtung von Dünnschliffen im durchfallenden Licht anwandte.

Die Mehrzahl seiner wenigen aber wichtigen Schriften ist in Jamesons New Journal veröffentlicht. Besonders sind daraus zu nennen: 1828 V. On fluids contained in crystallized minerals. 1828 VI. A method of increasing the divergence of the two rays in calcareous spar, so as to produce a single image; 1829 VII. Descriptions of cavities in rock salt; 1839 XXVII Notice concerning an improvement in the construction of the single vision prism of calcareous spar.

Literatur. *Encyclopädia Britannica 1884, XVII, S. 489.* — ***J. G. Poggendorff***, *Biogr.-lit. Handwörterbuch II, 282.*

K. Spangenberg.

Nicolsches Prisma.

Nach dem Physiker Nicol benanntes, von ihm erfundenes Polarisationsinstrument (vgl. den Artikel „Mikroskopische Technik").

Niepce
Joseph Nicéphore.

Geboren am 7. März 1765 in Chalons-sur-Saône, gestorben am 5. Juli 1833 in Gras, seinem kleinen Landgut bei Chalons-sur-Saône. Er war Kavallerieoffizier, machte als solcher den italienischen Feldzug mit, quittierte aus Gesundheitsrücksichten den Dienst, verwaltete von 1789 bis 1801 den Distrikt Nizza, zog sich dann in seine Vaterstadt zurück, um sich mechanischen und chemischen Untersuchungen zu widmen, zunächst in Gemeinschaft mit seinem Bruder. Seit 1811 beschäftigte er sich mit Lithographie. Seine photographischen Versuche begannen 1813; zum weiteren Ausbau seiner Erfindungen verband er sich mit Daguerre, der nach Niepces Tod dessen Grundideen weiter ausgebaut und die unter dem Namen Daguerreotypie bekannten ersten Photographien hergestellt hat. Auch eine hydrostatische Pumpe wurde von Niepce konstruiert.

Literatur. ***Isidor Niepce***, *Post tenebras lux, Paris 1839.* — ***Fouqué***, *La vérité sur l'invention de la photographie: Nicéphore Niepce, Paris 1867.* — ***Arago***, *Rapport sur le daguerrotyp. Paris 1839.*

E. Drude.

Nilson
Fredrik.

Schwedischer Chemiker. Geboren am 27. Mai 1840; gestorben am 14. Mai 1899. Er hat sich durch seine trefflichen Forschungen im Gebiete der anorganischen und analytischen Chemie verdient gemacht, besonders durch Untersuchung der Verbindungen seltener Elemente, durch sorgsame Atomgewichtsbestimmungen und durch Entdeckung eines neuen Grundstoffes, des Scandiums, dem durch Nilsons Untersuchungen der ihm zukommende Platz im periodischen System der Elemente angewiesen wurde.

E. von Meyer.

Nitrosoverbindungen.

1. Die Nitrosogruppe und ihre Reaktionen. 2. Anorganische Nitrosoverbindungen: a) Stickoxyd. b) Stickoxydverbindungen von Säuren und Salzen. c) Nitroxyl. d) Nitrosylhaloide. e) Nitrososulfosäure. f) Nitrosohydroxylaminsulfosäure. 3. Organische Nitrosoverbindungen, deren Nitrosogruppe an Stickstoff gebunden ist: a) Nitrosamine. b) Nitrosohydrazine. c) Nitrosohydroxylamine (Isonitramine usw.). 4. Organi-

Digitized by Google

sche Nitrosoverbindungen, deren Nitrosogruppe an Kohlenstoff gebunden ist: a) Nitrosokohlenwasserstoffe. b) Nitrosolsäuren. c) Pseudonitrole. d) Nitrosochloride, Nitrosobromide, Nitrosite, Pseudonitrosite und Nitrosate. e) Nitrosoderivate anderer Körperklassen.

1. Die Nitrosogruppe und ihre Reaktionen. Die Nitrosokörper enthalten die einwertige Nitroso- oder Nitrosylgruppe –N:O. Doch fallen die Verbindungen, in denen die Nitrosogruppe unmittelbar an Sauerstoff gebunden ist, also die salpetrige Säure HO.NO mit ihren Salzen und Estern, Stickstofftrioxyd, Untersalpetersäure, Nitrosylschwefelsäure, Nitrosylperchlorat u. dgl. nicht unter den Begriff Nitrosoverbindungen.

Die sogenannten Pernitrosoverbindungen sind Nitrimine und im Artikel „Nitroverbindungen" aufgeführt.

Primäre und sekundäre Nitrosokörper, in denen das die Nitrosogruppe tragende mehrwertige Atom noch ein oder zwei Wasserstoffatome bindet, gehen mit großer Leichtigkeit in die Isonitrosokörper mit der Gruppe =N.OH über. Bei der Reduktion wird die Nitrosogruppe über den Hydroxylaminrest NH.OH in den Aminrest NH_2, bei der Oxydation in die Nitrogruppe NO_2 verwandelt. Im Nitroxyl HNO und seinen organischen Abkömmlingen R.NO, in denen NO an C gebunden ist, zeigt die Nitrosogruppe Neigung, sich mit ihresgleichen zu dimolekularen Verbindungen zu vereinigen. Beim freien Stickoxyd, den Nitrosylhaloiden, Nitrosaminen usw. begegnet man dieser Neigung nicht. Viele, aber nicht alle Nitrosokörper, geben die Liebermannsche Nitrosoreaktion: erwärmt man sie mit Phenol und konzentrierter Schwefelsäure, gießt dann die Flüssigkeit in Wasser und übersättigt mit Alkalilauge, so bemerkt man eine blaue oder violette Färbung.

2. Anorganische Nitrosoverbindungen. 2a) Stickoxyd NO. Stickoxyd kann als der einfachste Nitrosokörper gelten. Es ist ein farbloses Gas. Ueber seine Bildungsweisen, physikalischen Eigenschaften, seine Zersetzung, Oxydation und Reduktion siehe den Artikel „Stickstoff". Hier kommt es auf die Additionsreaktionen der stark ungesättigten endothermen Verbindung an. Sie vereinigt sich mit freiem Sauerstoff zu Stickstoffdioxyd NO_2, mit Stickstoffdioxyd bei niederer Temperatur zu Stickstofftrioxyd N_2O_3, mit den Halogenen zu Nitrosylhaloiden NOHal, bei 0° und 10 Atm. oder bei 12° und 43 Atm. Druck mit Wasser zu einem über 12° nicht mehr existenzfähigen Hydrat und mit Sulfiten zu den Salzen der stickoxydschwefligen Säuren (siehe unten). Die Einwirkung des Stickoxyds auf gewisse organische Verbindungen mit reaktionsfähigen Wasserstoffatomen, auf Zinkalkyle und Magnesiumhalogenalkyle bringt Nitrosohydroxylamine (siehe unten) hervor. Auf Säuren und Salze wirkt Stickoxyd unter Bildung von interessanten Verbindungen ein:

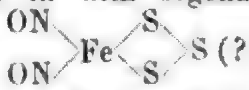
2b) Stickoxydverbindungen von Säuren und Salzen (Metallnitrosoverbindungen). Das Stickoxyd ist in diesen Verbindungen meist sehr locker gebunden. Die Addition kann als eine Aeußerung von Nebenvalenzen betrachtet werden. Bei der Temperatur der flüssigen Luft bildet Salzsäure mit Stickoxyd eine intensiv dunkelrote Verbindung. Trockenes Jod wird in der Kälte von höchst konzentrierter Salpetersäure in ein außerordentlich zersetzliches, voluminöses gelbes Pulver, Nitro- oder Nitrosojodsäure genannt, verwandelt. Sirupförmige Phosphorsäure verschluckt Stickoxyd und bildet dann mit wenig Wasser große vierseitige Säulen, die durch Erwärmung oder Verdünnung wieder in Stickoxyd und Phosphorsäure zerlegt werden. Arsensäure und einige organische Säuren verhalten sich ähnlich. Ebenso geben verschiedene Haloide des Bors, Siliciums, Wismuts, Aluminiums und Eisens mit Stickoxyd feste Verbindungen wie $BiCl_3NO$, $(FeCl_2)_2NO$, $(FeCl_3)_4NO$, $(FeCl_3)_{10}NO$ usw., die alle durch Wasser gespalten werden.

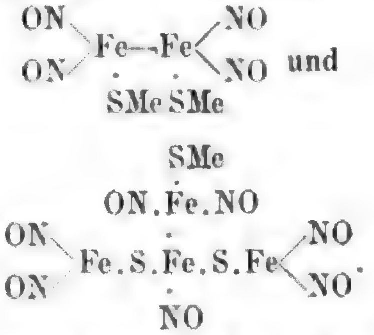
Schon frühzeitig war es aufgefallen, daß Stickoxyd reichlich von Ferrosalzlösungen mit dunkelbrauner Farbe aufgenommen wird (Chromosalze dagegen reduzieren Stickoxyd zu Ammoniak und Hydroxylamin). Die gelöste Menge des Gases nimmt mit dem Druck (und zwar kontinuierlich), der Abkühlung und der Menge zugesetzter starker Salzsäure oder Schwefelsäure (infolge Vermehrung der Zahl komplexer Anionen wie $[FeCl_{2+x}(NO)]^{(x-1)'}$, aus denen das Stickoxyd weniger leicht abdissoziiert als aus dem Kation $[Fe(NO)]^{\cdot\cdot}$) zu bis zu einer Höchstgrenze 1NO:1Fe. Im Vakuum wird das Stickoxyd fast ganz, im Wasserstoffstrom völlig abgegeben. Aehnlich absorbieren Lösungen von Nickelo-, Kobalto- oder Manganosalzen Stickoxyd reichlich, allerdings ohne Farbenänderung. In konzentrierter Schwefelsäure löst sich Ferrisulfat bei Gegenwart von Stickoxyd auf; in der schwarzroten Flüssigkeit sind auf 1 Fe im Maximum 2 NO enthalten; Verdünnung mit Wasser und Durchleiten von Wasserstoff entfärbt die Lösung und treibt das Stickoxyd aus; in konzentrierter Salzsäure nimmt Ferrisalz kein Stickoxyd auf. Mit dem eisenhaltigen Blutfarbstoff Hämoglobin vereinigt sich Stickoxyd zu einer Verbindung von der Kristallform und dem Absorptionsspektrum des Oxyhämoglobins; auch hier vermag Wasserstoffgas das Stickoxyd zu verdrängen; da die aufgenommene Menge im

Digitized by Google

Maximum 2NO:1Fe beträgt, so wird das Eisen im Hämoglobin in der Ferristufe vorliegen. Auch Cuprisalze vermögen in vielen Fällen, nämlich dann, wenn Komplexe mit negativen Resten vorliegen (in hochkonzentrierten Lösungen des Chlorids und Bromids, zumal in Alkohol, Aceton oder starken Mineralsäuren), Stickoxyd in ganz entsprechender Weise zu addieren; die Bindung ist hier noch lockerer.

Fester gebunden ist die Nitrosogruppe in den Salzen der Nitroprussidwasserstoffsäure, wo sie sich zugleich mit Cyanresten in der Bindungssphäre des Eisenatoms befindet und am Aufbau des komplexen Anions $\{Fe(CN)_5NO\}''$ teilnimmt. Das seit 1849 bekannte Nitroprussidnatrium $\{Fe^{III}(CN)_5NO\}Na_2+2H_2O$, rubinrote wohlausgebildete Kristalle, erhält man unter anderem, wenn man Stickoxyd auf Ferro- oder Ferricyanwasserstoff einwirken läßt, hierauf mit Soda neutralisiert und eindampft. Auch die freie Säure hat man in roten Kristallen (mit $1H_2O$) dargestellt. Unter dem Einfluß von Salzsäure bildet sie mit Alkoholen Ester der Formel $Fe(CN)_5H_2(NO_2R)$. Auf Zugabe von Natronlauge geht Nitroprussidnatrium (Prussinitrosonatrium) in Prussonitritnatrium $\{Fe^{II}(CN)_5NO_2\}Na_4+10H_2O$ über, das seinerseits durch Kaliumpermanganat zu Prussinitritnatrium $\{Fe^{III}(CN)_5NO_2\}Na_3$ oxydiert wird. In den Nitroprussiden kann die Nitrosogruppe noch durch andere Reste und Moleküle wie H_2O, NH_3, CN usw. ersetzt werden (vgl. die Artikel „Eisengruppe" und „Cyanverbindungen").

Als Komplexbildner ist das Stickoxyd noch an einer anderen Serie von einigermaßen beständigen Eisenverbindungen beteiligt, in den 1858 aufgefundenen Roussinschen Salzen. Läßt man Ferrosulfat auf eine Lösung von Kaliumnitrit und Kaliumsulfid einwirken und erhitzt, so entsteht das Kaliumsalz einer Eisenheptanitrososulfosäure $Fe_4(NO)_7S_3K+H_2O$, schwarze glänzende monokline Kristalle, die sich in Wasser schwer, in Alkohol leicht lösen und im Aetherdampf schon zerfließen. Kalium- und Quecksilbercyanid verwandeln die Salze in Nitroprussidsalze, umgekehrt geben Nitroprussidsalzlösungen, mit Schwefelwasserstoff behandelt und dann aufgekocht, neben anderen Produkten Eisenheptanitrososulfonate. Mit Silbernitrat gibt das Kaliumsalz in neutraler Lösung untersalpetrigsaures Silber $N_2O_2Ag_2$, in saurer Lösung entsteht Stickoxydul N_2O. Starke Kalilauge verwandelt das Kaliumsalz der Eisenheptanitrososulfosäure in das schwarzrote Kaliumsalz der Eisentetranitrososulfosäure $Fe_2(NO)_4S_2K_2+4H_2O$, das in Aether unlöslich ist und mit Aethyljodid einen Ester $Fe_2(NO)_4S_2(C_2H_5)_2$, schöne schwarze monokline Kristalle vom Schmelzpunkt 78° liefert. Derselbe Ester entsteht auch aus Ferrohydroxyd mit Aethylmerkaptan und Stickoxyd. Der Phenylester vom Schmelzpunkt 179° wird entweder analog unter Verwendung von Thiophenol oder aber durch Einwirkung von Phenylhydrazin oder Diazobenzolnitrat auf das Kaliumsalz der Eisenheptanitrososulfosäure erhalten. Die freie Tetranitrososäure zersetzt sich leicht und bildet dabei die beständigere Heptanitrososäure zurück. Eine Säure, die sich von der Eisentetranitrososulfosäure mittels Ersatzes eines Sulfhydryls $.SH$ durch den Thioschwefelsäurerest $.SSO_3H$ ableitet, erhält man in Form ihres in bronzeglänzenden rotbraunen Blättchen kristallisierenden Kaliumsalzes $Fe(NO)_2S_2O_3K+1H_2O$ (die Verdoppelung der einfachen Formel, die sich für die Eisentetranitrososulfosäure aus einer Molargewichts-Bestimmung ihres Aethylesters ergibt, wird auch hier angebracht sein), wenn man Stickoxyd in eine konzentrierte Lösung von Ferrosulfat und Kaliumthiosulfat einleitet. Kobalt scheint eine entsprechende Verbindung zu bilden. Beim Kochen des Natriumsalzes dieser Dinitrosoeisenthiosulfosäure (Eisentetranitrosothiosulfosäure?) entweicht Schwefeldioxyd und aus der Lösung scheidet sich das Salz der Eisenheptanitrososulfosäure ab, die übrigens auch sonst unter mancherlei Bedingungen (als Ammoniumsalz) entsteht, wenn Eisen, Schwefel und Stickoxyd zusammentreffen. Die Muttersubstanz der Roussinschen Salze scheint in dem sogenannten Nitrososchwefeleisen  (?) vorzuliegen, das aus einer in der Kälte mit Stickoxyd gesättigten Ferrochloridlösung in amorphen schwarzbraunen Klumpen ausfällt, wenn man eine Dreifachschwefelalkalilösung (Na_2S_3) zutropfen läßt. Die Struktur der Tetranitroso- und Heptanitrososalze ist durch die beiden Formeln ausgedrückt worden:



Leitet man reines Stickoxyd in wässerig-ammoniakalische Kobaltosalzlösungen, so fallen in der Kälte glänzend schwarze Kristalle aus, die sich bei gewöhnlicher Temperatur leicht in rote Pulver umwandeln. Beide Substanzreihen haben die gleiche Zusammensetzung von Pentamminnitrosokobaltsalzen

Digitized by Google

$Co(NO)(NH_3)_5X_2$, worin $X = NO_3$ oder Cl. Die schwarze Reihe gibt bei Zusatz von Wasser oder verdünnten Säuren ihr Stickoxyd vollständig ab und hinterläßt Kobaltosalz, die rote wird erst von konzentrierter Schwefelsäure zerlegt, entwickelt dabei Stickoxydul und hinterläßt Kobaltipentamminsalz. Die Moleküle haben vielleicht die doppelte Größe der obigen Formel und die Isomerie beruht anscheinend darauf, daß die schwarzen Salze Kobaltoderivate sind und Stickoxyd als neutralen Bestandteil enthalten, die roten sich aber vom dreiwertigen Kobalt ableiten und das Dimolekulare des Stickoxyds in Form eines Säurerestes aufweisen (Valenzisomerie).

2c) Nitroxyl HNO. Die Existenz dieser Verbindung ergibt sich aus gewissen Reaktionen. Ihre Entstehung ist anzunehmen bei der durch Alkalien bewirkten Spaltung von Verbindungen, welche die Gruppe =NOMe aufweisen: von Salzen der Nitrohydroxylaminsäure MeON(O):NOMe (vgl. den Artikel „Nitroverbindungen"), der Benzolsulfhydroxamsäure $C_6H_5(MeO)S(O)$:NOMe und der Sulfhydroxamsäure (tautomer mit Hydroxylaminsulfosäure) $Me_2O_2S(O)$:NOMe. Als fernere Bildungsweisen sind die Oxydation von Hydroxylamin mit Caroscher Säure oder mit Ferrisalzen und der Zerfall der Nitrososulfosäure (siehe unten) zu nennen. Mutmaßlich tritt Nitroxyl auch vorübergehend bei der Reduktion der salpetrigen Säure mit Zinnchlorür auf. Sich selbst überlassen polymerisiert es sich rasch zu untersalpetriger Säure HON:NOH oder gibt deren Anhydrid Stickoxydul N_2O. Das Auftreten der monomolekularen Form geht aber daraus hervor, daß bei Anwesenheit von Aldehyden R.CHO Hydroxamsäuren R.C(OH):NOH, von C-Nitrosoverbindungen R.NO Nitrosohydroxylamine R.N(OH)NO, von sekundären Aminen R_2NH über Oxyhydrazine hinweg Tetrazone $R_2N.N:N.NR_2$ und von Hydroxylaminen R.NH.OH Diazokörper $R.N_2.OH$ gebildet werden. Alkyljodide geben dabei Oxime:

$$R.CH_2J + HNO \rightarrow R.CH_2NO \rightarrow R.CH:NOH.$$

2d) Nitrosylhaloide ON.Hal. Nitrosylhaloide sind die Halogenderivate der salpetrigen Säure ON.OH. Sie entstehen durch Vereinigung von Stickoxyd mit den Halogenen, zerfallen beim Erhitzen wieder in diese Komponenten, und zwar um so leichter, je schwerer das Halogen ist, und werden wie andere Säurehaloide zu Säure und Halogenwasserstoff hydrolysiert.

Nitrosylfluorid ON.F, aus Nitrosylchlorid und Silberfluorid dargestellt, ist ein ungemein reaktionfähiges Gas von der Dichte 1,683 bei 23°, das bei —56° flüssig und bei —134° fest wird.

Nitrosylchlorid ON.Cl entsteht außer durch Vereinigung von Stickoxyd mit Chlor (zweckmäßig in Gegenwart trockener Tierkohle) aus Stickoxyd und Ferrichlorid bei höherer, aus Untersalpetersäure und Chlorwasserstoff bei niederer Temperatur, aus Stickstoffdioxyd, Stickstofftrioxyd oder Salpeter bei der Einwirkung von Chloriden des Phosphors und Arsens, bei der Destillation des Königswassers ($HNO_3 + 3HCl = ON.Cl + Cl_2 + 2H_2O$), beim Erhitzen der Nitrosylschwefelsäure mit Natriumchlorid ($NO_2.SO_3H + NaCl = NaHSO_4 + ON.Cl$) auf 80 bis 90° und aus einigen Nitrosaminen (siehe unten) mit Chlorwasserstoff. Es ist ein Gas von der Dichte 2,29 bis 2,32 bei 10°, das sich bei —5,6° in eine rote Flüssigkeit verwandelt, bei stärkerer Abkühlung zu einer gelben Masse erstarrt, bei —61 bis —60° schmilzt und erst bei 700° anfängt zu dissoziieren. Es vereinigt sich mit Schwefeltrioxyd zum Chlorid der Nitrosylschwefelsäure $NO_2.SO_2.Cl$, mit verschiedenen Metallchloriden zu sehr verschieden beständigen Doppelverbindungen, gibt mit Metalloxyden Nitrite und Chloride, greift Metalle verschieden leicht an, verwandelt organische primäre Amine in Chloride, sekundäre in Nitrosamine und addiert sich in vielen Fällen unter Dissoziation an Aethylverbindungen (siehe unten: Nitrosochloride).

Nitrosylbromid ON.Br ist in der Kälte eine schwarzbraune Flüssigkeit, die bei —2° zu sieden beginnt und dabei teilweise schon zerfällt. In seinen Reaktionen ist es dem Nitrosylchlorid ähnlich.

Ein Nitrosyljodid wird, wenn überhaupt, so nur bei sehr tiefer Temperatur zu erhalten sein.

2e) Nitrososulfosäure $ON.SO_3H$ liegt vermutlich in der unbeständigen, nicht isolierbaren Verbindung vor, die äquivalente Mengen von Schwefeldioxyd und salpetriger Säure in wässeriger Lösung eingehen. Sie zerfällt sehr bald in Nitroxyl (oder Stickoxydul und Wasser) und Schwefelsäure, ist in Gegenwart einer starken Säure etwas beständiger und wird von salpetriger Säure in die Nitrosisulfosäure (Sulfonitronsäure) umgewandelt,

$$\underset{\dot{N}O}{HOSO_2} + HO.NO = NO + \underset{HO\dot{N}O,}{HOSO_2}$$

eine Reaktion, die zur Erklärung der Vorgänge in den Bleikammern der Schwefelsäurefabriken Bedeutung hat.

2f) Nitrosohydroxylaminsulfosäure. Die sogenannte Nitrosohydroxylaminsulfosäure oder stickoxydschweflige Säure ist wahrscheinlich kein wahrer Nitrosokörper HO.N-(NO)SO_3H (Isonitraminsulfosäure), sondern dessen Isomeres HON:N.O.SO_3H. Die freie Säure ist unbekannt. Ihr Kaliumsalz erhält man in glänzenden, an feuchter Luft zersetzlichen Kristallen, wenn man eine

Digitized by Google

Lösung von Kaliumsulfit bei Anwesenheit von freiem Alkali mit Stickoxyd sättigt.

3. Organische Nitrosoverbindungen, deren Nitrosogruppe an Stickstoff gebunden ist. 3a) Nitrosamine. Sie können auch als Alkylderivate des unbekannten Amids der salpetrigen Säure $ON.NH_2$ aufgefaßt werden. Während salpetrige Säure aliphatische primäre Amine $R.NH_2$ in Nitrite, Alkohole oder Olefine verwandelt, bildet sie mit den aromatischen primären Aminen, dem Anilin und seinen Verwandten, Diazokörper $R.N_2OH$, die in alkalischer Lösung mit Phenolen zu Farbstoffen kuppeln, bei längerer Einwirkung von Alkali aber diese Fähigkeit verlieren, indem sie in die Antidiazotate (Isodiazobenzolmetalle) $R.N:N.OMe$ übergehen. Die zugehörige Wasserstoffverbindung, das Antidiazohydrat $R.N:N.OH$ ist tautomer mit dem primären Nitrosamin $R.NH:N.OH$, und in einigen Fällen, so beim 2.4.6-Tribrombenzol-Antidiazohydrat, ist es auch gelungen, beide Formen nebeneinander zu isolieren. Die Tendenz zum Uebergang in die Nitrosaminform scheint um so stärker zu sein, je weniger negativ R ist. Die Phenylnitrosamine (Isodiazokörper) entstehen auch durch Einwirkung von Stickstofftrioxyd auf freie Anilinbasen. Verdünnte Alkalien wirken auf ein solches primäres Nitrosamin nicht ein, konzentrierte verwandeln es in das Diazotat zurück; es ist eine Pseudosäure (nach Hantzsch). Im Gegensatz zu dem mit ihm desmotropen Antidiazohydrat ist es weder explosiv noch reagiert es mit Phenylisocyanat und gibt mit Chlorwasserstoff nicht wie jenes Diazoniumchlorid $R.N_2Cl$, sondern ein Chlorhydrat $R.NH(NO)HCl$.

Mit sekundären Aminen $R.NH.R_1$, aliphatischen sowohl wie aromatischen, bildet salpetrige Säure die von Geuther 1863 entdeckten sekundären Nitrosamine $R.N(NO)R_1$. Man setzt bei dieser Reaktion zweckmäßig das Chlorhydrat der Base mit Alkalinitrit um. Auch Nitrosylchlorid läßt Nitrosamine entstehen (siehe oben). Ferner geben die vorhin genannten Antidiazotate mit Alkyljodiden Nitrosamine, z. B. C_6H_5-$N:NOK \rightarrow C_6H_5.N(NO)CH_3$. Auch gehen gewisse im Benzolkern nitrierte aromatische Nitramine beim Eintragen in kalte konzentrierte Schwefelsäure in Nitrosamine über. Die Nitrosamine sind mit Wasserdampf unzersetzt flüchtig, riechen gewürzartig, reagieren neutral, vermögen aber mit Chlorwasserstoff bei Wasserausschluß noch Salze zu bilden, die von Wasser sogleich zerlegt werden. Die niederen Vertreter der aliphatischen Reihe sind flüssig und ohne Zersetzung destillierbar. Dimethylnitrosamin $(CH_3)_2N.NO$ siedet bei 148°, Diäthylnitrosamin (Nitrosodiäthylin) bei 177°, ist in Wasser ziemlich löslich und hat bei 17,5° das spezifische Gewicht 0,951, Methylphenylnitrosamin $CH_3N(NO)C_6H_5$ schmilzt bei 12 bis 15°, Diphenylnitrosamin $(C_6H_5)_2N.NO$ bildet blaßgelbe Tafeln, die bei 66° schmelzen und sich in konzentrierter Schwefelsäure mit dunkelblauer Farbe lösen. Bei gelinder Reduktion gehen die Nitrosamine in Hydrazine $RR_1N.NH_2$, bei energischerer rückwärts in die Amine $RR_1.NH$ über. Salzsäure läßt beim Kochen in der aliphatischen Reihe ebenfalls wieder die Basen entstehen, z. B.

$$(CH_3)_2N.NO + 2HCl = (CH_3)_2NH.HCl + NOCl$$

in der aromatischen Reihe lagert Salzsäuregas die in Alkohol oder Aether gelösten Nitrosamine in p-Nitrosaniline um, z. B.

$$C_6H_5.N\begin{matrix}\diagup CH_3\\ \diagdown NO\end{matrix} \longrightarrow ON.C_6H_4.N\begin{matrix}\diagup CH_3\\ \diagdown H\end{matrix}.$$

Die Nitrosamine geben sehr deutlich die Liebermannsche Reaktion (siehe oben). Dadurch hat man ein Mittel an der Hand, sekundäre Amine nachzuweisen.

Aus einem Gemisch verschiedener Aminsalze scheidet salpetrige Säure oder Natriumnitrit die sekundären Amine als Nitrosoamine ab, die man entweder als ölige Schicht absondern oder (in den niederen Reihen) mit Wasserdampf abdestillieren kann. Das Verhalten der primären Amine bei dieser Behandlung wurde am Eingang dieses Kapitels erwähnt. Tertiäre Amine der aliphatischen Reihe bleiben größtenteils unverändert und geben zum geringen Betrage unter Abspaltung eines Alkylrestes (in Form von Aldehyd) ebenfalls sekundäre Nitrosamine, die der aromatischen Reihe werden im Benzolkern nitrosiert oder nitriert.

An die Dialkylnitrosamine schließen sich die Acylnitrosamine oder Nitrososäureamide und -anilide $R.N(NO)CO.R_1$. Die Ester der Nitrosocarbaminsäure $HN(NO)$-$COOR$ gehen durch Reduktion aus den entsprechenden Nitroverbindungen hervor. Der Methylester schmilzt bei 61°, der Aethylester (Nitrosourethan) bei 51° unter Zersetzung. Die Salze sind wahrscheinlich als $MeON:N.COOR$ zu formulieren. Nitrosoharnstoff zersetzt sich sofort in Lösung wenig über 0°. Nitrosoguanidin $H_2N.C$-$(:NH)NH.NO$(?) erhält man durch Reduktion von Nitroguanidin in gelben Nadeln, die bei 160 bis 165° verpuffen. Die folgenden sekundären Acylnitrosamine entstehen durch Einführung der Nitrosogruppe in Säureamidmoleküle, ganz wie sie bei den sekundären Aminen erfolgt. Nitrosomethylurethan $CH_3.N(NO)COOC_2H_5$ ist flüssig und gibt, durch Kali unter Zwischenbildung von $CH_3N:NOK$ zersetzt, Diazomethan. Nitrosomethylharnstoff $H_2N.CO.N(NO)CH_3$ bildet gelbliche Tafeln, die sich bei 123 bis 124° zersetzen. Nitroso-α-dimethylharnstoff

Digitized by Google

$CH_3.HN.CO.N(NO)CH_3$ bildet Nadeln und zersetzt sich bei 96°, der entsprechende Nitroso-α-diäthylharnstoff schmilzt bei +5°. Diese Nitrosoalkylharnstoffe geben bei der Reduktion Semicarbazide (Hydrazinharnstoffe). Läßt man sie in Gegenwart von Basen auf hydroxylhaltige Verbindungen wirken, so werden die Aether dieser Verbindungen (z. B. Codeïn aus Morphin) gebildet; die Reaktion kommt offenbar durch Zwischenbildung von Diazomethan zustande. Die Nitrososäureanilide entstehen durch Einwirkung salpetriger Säure auf Säureanilide und Säurechloride R.COCl oder -anhydride auf die Diazotate $R.N_2OMe$, werden durch Alkalien in Syndiazotate und Carbonsäuren, durch Chlorwasserstoff in Säureanilide und Nitrosylchlorid gespalten. In ihrer Fähigkeit, mit Phenolen und Anilinen Azofarbstoffe und Diazoamidoverbindungen zu bilden und sich auch mit Benzol, Thiophen usw. unter Stickstoffentwickelung und mit Kaliumsulfit umzusetzen, macht sich der leichte Uebergang in Diazokörper $R.N_2.O.COR_1$ geltend. Nitrosoformanilid $C_6H_5N(NO)CHO$ schmilzt bei 49,5°, Nitrosoacetanilid $C_6H_5N(NO)CO.CH_3$ bildet glänzende Nadelbüschel vom Schmelzpunkt 51°.

Zu den sekundären Nitrosaminen gehört noch das Nitrosoparaldimin

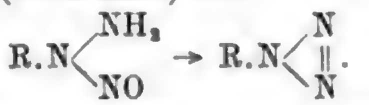
eine zitronengelbe, flüchtige und stark nach Kampher riechende, in Wasser unlösliche Flüssigkeit vom Siedepunkt 95° bei 35 mm Quecksilberdruck, die aus Aldehydammoniak in schwach saurer wässriger Lösung auf Zugabe von Natriumnitrit erzeugt wird.

3b) Nitrosohydrazine. Nitrosohydrazine bilden sich bei vorsichtiger Einwirkung salpetriger Säure auf primäre Hydrazine und auch auf einige Hydrazoverbindungen (sekundäre Hydrazine) Die Nitrosohydrazokörper $R.N(NO)NHR_1$ erhält man ferner durch Alkylierung der primären Nitrosohydrazine $RN(NO)NH_2$, z. B. mit Dimethylsulfat oder mit Benzylchlorid bei Gegenwart von Alkali. Nitrosomethylhydrazin $CH_3N(NO)NH_2$ kristallisiert in schönen weißen Nadeln, schmilzt bei 45°, löst sich sehr leicht in Wasser und Alkohol, schwer in Aether. Nitrosophenylhydrazin $C_6H_5N(NO)NH_2$ ist sehr giftig, bildet zersetzliche Blättchen und zerfällt beim Erhitzen in indifferenten Lösungsmitteln in Anilin und Stickoxydul. Das Dinitroderivat $C_6H_3(NO_2)_2N(NO)NH_2$ schmilzt bei 72°. Die Dimethylverbindung $C_6H_5N(CH_3)N(NO)CH_3$ ist ein dunkelrotes Oel. Nitrosobenzylhydrazin $C_6H_5CH_2N(NO)NH_2$ bildet Blättchen oder Nadeln, die bei 70° unzersetzt schmelzen. Nitrosohydrazomethan $CH_3NH-N(NO)CH_3$ ist ein hellgelbes flüchtiges Oel. Dinitrosodibenzylhydrazin $C_6H_5CH_2N(NO)-N(NO)CH_2C_6H_5$ ist eine hellgelbe Kristallmasse, die bei 44° schmilzt.

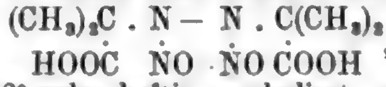
Die Nitrosoderivate primärer Hydrazine vermögen leicht zerlegbare Salze zu bilden und geben mit Eisenchlorid eine intensiv violette, die Nitrosohydrazoverbindungen eine blaue Färbung. Mit Benzoylchlorid und mit Benzaldehyd (nur bei Gegenwart von etwas Schwefelsäure) reagieren Nitrosomethyl- und Nitrosobenzylhydrazin wie die Hydrazine selbst. Durch Aethylnitrat bei Gegenwart von Natriumäthylat werden die Nitrosoderivate primärer Hydrazine in Isoazotate (Isodiazoverbindungen) verwandelt:

$$RN(NO)NH_2 \rightarrow RN(NO)NH.NO \rightarrow N_2O + RNH.NO \rightarrow RN:NONa.$$

Die aromatischen Nitrosohydrazine gehen sehr leicht unter Wasserabspaltung in Diazoimide (Benzolazide) über:

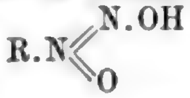


Durch Nitrosierung von Hydrazoisobuttersäure erhält man deren Dinitrosoverbindung

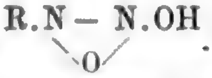


, die bei 47 bis 48° sehr heftig explodiert und von Alkalien in Isonitraminisobuttersäure, Oxyisobuttersäure und Stickstoff gespalten wird.

3c) Nitrosohydroxylamine (Isonitramine usw.). Die mit den Nitraminen $R.NH.NO_2$ (vgl. den Artikel „Nitroverbindungen") isomeren Nitrosohydroxylamine oder Isonitramine haben die Formel R.N(NO)OH, vielleicht auch



oder



. Versuche zur Abspaltung des organischen Restes aus Nitrosohydroxylaminen waren bei der Einwirkung von Alkalien auf Dimethylnitrosooxyharnstoff (siehe unten) von Erfolg; sie führten statt zum erwarteten Nitrosohydroxylamin HN(NO)OH zur untersalpetrigen Säure HON:NOH, die mit jenem tautomer ist. Dieses Ergebnis erklärt sich aus der Umlagerungstendenz aller Nitrosokörper, in denen ein H-Atom mit der Nitrosogruppe an dasselbe N- oder C-Atom gebunden ist.

Die Nitrosohydroxylamine entstehen in einigen Fällen aus Hydroxylaminen R.NH.OH mit salpetriger Säure. Nitrosophenylhydroxylamin hat man auch durch Einwirkung von Hydroxylamin (und Natriumalkoholat) auf Nitrobenzol und von Nitroxyl (siehe oben) auf Nitrosobenzol erhalten. Ferner läßt sich die Nitrosohydroxylamingruppe N_2O_2H durch Absorption von Stickoxyd bei Gegenwart von Natriumalkoholat

Digitized by Google

in alle diejenigen Verbindungen einführen, die auch durch salpetrige Säure in Isonitrosokörper verwandelt werden, nämlich in Acetessigester, Malonsäureester und deren Monoalkylderivate, Acetbernsteinsäureester, primäre Nitrokörper, Ketone, die neben dem Carbonyl eine CH-, CH_2- oder CH_3-Gruppe enthalten, ferner in Diketone, Phenylessigester, Benzylcyanid, Resorcin usw. (W. Traube). Unter Umständen werden statt 2 auch 4 NO absorbiert und 2 N_2O_2H-Gruppen an demselben C gebildet. Man erhält so die Isonitramine zunächst in Form ihrer Natriumsalze, die meist in feuchtem Zustande leicht zerfallen. Durch überschüssiges Alkali wird der Isonitraminacetessigester in die Isonitraminessigsäure gespalten. Entsprechend entstehen die homologen Isonitraminfettsäuren. Daß die hierhergehörige Isonitraminisobuttersäure auch als Spaltprodukt der Dinitrosohydrazoisobuttersäure auftritt, wurde bei den Nitrosohydrazinen schon erwähnt. Die Hydrolyse der Reaktionsprodukte zwischen Ketonen und Stickoxyd ergibt Alkylidendiisonitramine: $CH_3COCH(N_2O_2Na)_2 + H_2O = CH_3COOH + H_2C(N_2O_2Na)_2$ (Methylendiisonitraminsalz). Weiterhin ist es sehr wahrscheinlich, daß die sogenannten Dinitroalkylsäuren, die aus Zinkalkylen und Stickoxyd gebildet werden, Nitrosohydroxylamine vorstellen:

$$Zn(C_2H_5)_2 \xrightarrow{2NO} C_2H_5.N\begin{cases}NO\\OZnC_2H_5\end{cases}$$

$$\xrightarrow{H_2O} C_2H_5.N\begin{cases}NO\\OZnOH\end{cases} + C_2H_6.$$

Dieses basische Zinksalz geht, in wässeriger Lösung mit Kohlensäure zerlegt, in das neutrale Salz $(C_2H_5N_2O_2)_2Zn$ und auf Zusatz von Mineralsäuren in die freie Dinitroäthylsäure (Aethylnitrosohydroxylamin) über. Aehnlich bilden Methylmagnesiumjodid CH_3MgJ und Phenylmagnesiumbromid C_6H_5MgBr mit Stickoxyd in Aether die Salze des Methyl- oder Phenylnitrosohydroxylamins $CH_3N(NO)OMgJ$ und $C_6H_5N(NO)OMgBr$. Schließlich führt noch die Spaltung der Bisnitrosylverbindungen von Terpenketonen (siehe unten) mit Salzsäure zu Nitrosohydroxylaminen, die hier Bisnitrosylsäuren genannt worden sind.

Unter den Eigenschaften der Nitrosohydroxylamine treten die starke Säurenatur und die Zersetzlichkeit hervor. Die Aethylverbindung (Dinitroäthylsäure) $C_2H_5N(NO)$-OH riecht stechend und zerfällt allmählich schon in der Kälte. Allgemein werden die Dinitroalkylsalze von alkoholischem Kali in primäres Alkylamin und Ammoniak zerlegt. Phenylnitrosohydroxylamin $C_6H_5N(NO)$-OH, durch direkte Nitrosierung, aus Nitrobenzol und Hydroxylamin, Nitrosobenzol und Nitroxyl sowie Phenylmagnesiumbromid und Stickoxyd erhalten, bildet seideglänzende Nadeln, die bei 58,4 bis 59° schmelzen, ist gegen Alkalien beständig und gibt gut kristallisierende Salze. Das Ammoniumsalz ist als „Cupferron" zur analytischen Trennung des Kupfers und Eisens von anderen Metallen empfohlen worden; die inneren komplexen Kupfer- und Eisensalze lösen sich in Aether. Benzylnitrosohydroxylamin $C_6H_5CH_2.N(NO)$-OH, der erste durch Nitrosierung erhaltene Körper dieser Art, bildet durchsichtige Prismen, schmilzt bei 77 bis 78° und zersetzt sich leicht in Stickstoff, Stickoxyd, und Bisnitrosylbenzyl. Die zweibasische, sirupförmige Isonitraminessigsäure $HOOC.CH_2$-N_2O_2H ist samt den anderen Isonitraminfettsäuren relativ beständig, gibt schwerlösliche Kalk- und Bleisalze und zerfällt erst beim Erwärmen mit Mineralsäuren in Amidoxylessigsäure und Stickoxyde (Spaltstücke der salpetrigen Säure):

$$\begin{matrix}COOH & NO \\ \dot{C}H_2\ . & \dot{N}OH\end{matrix} + \begin{matrix}OH\\ \dot{H}\end{matrix} = \begin{matrix}COOH + NOOH \\ \dot{C}H_2.NHOH\end{matrix}$$

während sie umgekehrt auch durch Auflösung der Amidoxylessigsäure in Natriumnitritlösung aufgebaut wird. Die Isonitraminisobuttersäure $\begin{matrix}COOH & NO\\ \dot{C}(CH_3)_2 & \dot{N}.OH\end{matrix}$ schmilzt bei 94°. Bei der Reduktion mit sauren Mitteln gehen die Isonitraminfettsäuren in Amino-, mit alkalischen Mitteln in Diazo- und Hydrazinofettsäuren $N_2R.COOH$ und $H_2N.NH.R.COOH$ über. Das durch Nitrosierung von Oxyurethan dargestellte Nitrosoderivat $C_2H_5O.CO.N(NO)OH$ zerfällt alsbald unter anderem in Acetaldehyd. Der ebenso aus Dimethyloxyharnstoff gewonnene Dimethylnitrosooxyharnstoff ist ölig und spaltet in Berührung mit Alkalien untersalpetrige Säure ab (siehe oben):

$$(CH_3)_2N.CO.N(NO)OH + H_2O = NH(CH_3)_2 + CO_2 + H_2O_2N_2$$

Die aus primären Nitroparaffinen und Stickoxyd entstehenden Nitroalkylisonitramine zerfallen, mit Mineralsäuren zusammengebracht, in Stickoxyde und Nitrolsäuren, die Alkylidendiisonitramine in Stickoxyde, Hydroxylamin und Aldehyde (über die Oxime).

Die für die Nitrosohydroxylamine gegebenen Formeln stehen zueinander im Verhältnis der Tautomerie. Es ist nun interessant, daß in einigen Fällen aus derselben Verbindung zwei verschiedene Ester erhalten worden sind. Dem einen Ester wird also die Formel I, dem anderen die Formel II zukommen:

$$\text{I}\quad \begin{matrix}R.N.NO\\ \dot{O}R_1\end{matrix} \qquad \text{II}\quad \begin{matrix}R.N{:}NOR_1\\ \ddot{O}\end{matrix}$$

$$\text{oder}\quad R.\underset{\diagdown\ O\ \diagup}{N{-}{-}N} - OR_1$$

Bei den Nitroverbindungen hat man die Parallele in den Dialkylnitraminen III und Dialkylisonitraminen IV

$$\text{III } R.\underset{R_1\ddot{O}}{N}.NO \qquad \text{IV } R.N{:}\underset{\ddot{O}}{N}-OR_1.$$

Durch Nitrosierung von α-Dibenzylhydroxylamin erhält man die Verbindung $C_7H_7N(NO)$-OC_7H_7 in Nadeln vom Schmelzpunkt 73 bis 74°, durch Umsetzung des Natriumsalzes des Benzylnitrosohydroxylamins mit Benzylchlorid dagegen den isomeren Ester $C_7H_7.N$-$(:O):NOC_7H_7$ in Blättchen vom Schmelzpunkt 58 bis 59°. Behandelt man ähnlich das Natrium- oder Silbersalz des p-Nitrobenzylnitrosohydroxylamins mit Methyljodid, so erhält man die beiden isomeren Ester $O_2N.C_6H_4.CH_2.N_2O_2CH_3$ in kristallisiertem Zustande nebeneinander, den einen, der auch bei der Nitrosierung von $O_2N.C_6H_4.NH$-OCH_3 entsteht, mit dem Schmelzpunkt 26°, den anderen in Nadeln vom Schmelzpunkt 145 bis 146°. Auch bei der Umsetzung des Silbersalzes der Isonitraminessigsäure mit Methyljodid tritt neben den farblosen Kristallen des Dimethylesters vom Schmelzpunkte 35° ein gelbes Oel auf, das offenbar den isomeren Ester enthält. Ebenso bilden die Alkylidendiisonitramine isomere farblose α- und gelbe β-Ester, z. B. $CH_2(N_2O_2CH_3)_2$.

Die Auffassung gewisser Bisnitrosylverbindungen als Nitrosohydroxylaminester wird im nächsten Kapitel erörtert.

4. Organische Nitrosoverbindungen, deren Nitrosogruppe an Kohlenstoff gebunden ist. Angesichts der Entstehung von Isonitrosokörpern (Oximen, siehe die Artikel „Aldehyde" und „Ketone") bei Reaktionen, die Nitrosokörper erwarten ließen, hielt V. Meyer die Bildung von Nitrosokörpern, die Stickstoff an Kohlenstoff gebunden enthielten, für unmöglich. Er bezweifelte deshalb auch, daß das 1874 von Baeyer entdeckte Nitrosobenzol und die von ihm selbst im gleichen Jahre aufgefundenen Pseudonitrole wahre Nitrosokörper wären. Die Frage trat in ein neues Stadium, als von Baeyer und Thiele 1894 die blauen Nitrosochloride des Tetramethyläthylens und Terpineolacetats erhalten wurden. Allgemeinere Methoden, die zur Bildung einer Reihe tertiärer Nitrosoverbindungen führten, lehrte dann Piloty kennen. Wallach und Sieverts beobachteten im Jahre 1899, daß das Pinolnitrosochlorid allmählich in ein Isonitrosochlorid übergeht, das sich im Gegensatz zum Nitrosokörper immer farblos löst. Im Jahre 1902 wurden weitere Nitrosokörper gewonnen, deren NO zugleich mit einem H an C gebunden war. Es waren die von J. Schmidt dargestellten Nitrosoverbindungen des Trimethyläthylens $(CH_3)_2CX$-$CH(CH_3)NO$ (worin X=Cl, Br, ONO oder ONO_2), denen sich später Nitrosocarbonsäureester anschlossen, und das von Piloty und Steinbock erhaltene Monochlornitrosoäthan $CH_3.CHCl.NO$ (siehe unten) — Verbindungen, die sich leicht in die mit ihnen isomeren, aber von ihnen physikalisch und auch chemisch ganz verschiedenen Isonitrosokörper verwandelten, z. B.

$$CH_3.\underset{Cl}{C}\begin{matrix}\diagup NO\\ \diagdown H\end{matrix} \longrightarrow CH_3.\underset{Cl}{C}{=}NOH.$$

Monochlornitrosoäthan — Acethydroximsäurechlorid.

Ein Beispiel ähnlicher Art hat man in der Isomerie zwischen Nitrosoaldehydrazonen $R.C(NO):N.NHC_6H_5$, die durch Nitrosierung von Aldehydrazonen entstehen, und Arylazoaldoximen $R.C(:NOH)N:NC_6H_5$, die aus jenen bei Gegenwart von Alkali gebildet werden (Bamberger).

Die Umlagerung der Nitroso- in die Isonitrosoverbindungen $RH.NO \rightarrow R:NOH$ ist einseitig und nicht umkehrbar wie etwa der Uebergang von Nitro- in aci-Nitrokörper ($RH.NO_2 \rightleftarrows R:NOOH$) oder von der Keto- in die Enolform ($R.CH_2CO.R_1 \rightleftarrows R.CH:C$-$(OH)R_1$); während hier die durch Alkali gebildete hydroxylhaltige Form sich beim Ansäuern schneller oder langsamer wieder in die ursprüngliche zurückverwandelt, bleibt die Isonitrosoverbindung bestehen.

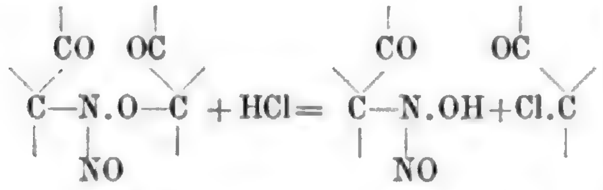
Diese Desmotropie betrifft die primären und sekundären C-Nitrosokörper. Eine andere Erscheinung, die auch die tertiären zeigen, ist die Polymerie. In Lösung oder geschmolzen sind diese Substanzen blau, grün, in einzelnen Fällen auch gelb und, wie kryoskopische Bestimmungen zeigen, monomolekular, im festen Zustande aber farblos und dimolekular. Beim Lösen tritt eine einfache Dissoziation $(R.NO)_2 \rightleftarrows 2R.NO$ ein, die in der Dissoziation der Untersalpetersäure in Stickstoffdioxyd ihr Analogon hat:

$$\underset{\text{Weiße Kristalle bei } -50°.}{N_2O_4} \rightleftarrows \underset{\text{Braunrotes Gas.}}{2NO_2.}$$

Temperatursteigerung und Verdünnung verschieben das Gleichgewicht zugunsten der monomolekularen Form. Unter gleichen Bedingungen wechselt es aber noch in weiten Grenzen von Substanz zu Substanz. Es gibt Verbindungen, die schon bei gewöhnlicher Temperatur blau und monomolekular sind wie das Bromnitrosopropan, andere, die farblose Kristalle bilden, blau schmelzen und in Lösung über 0° rasch aus der dimolekularen farblosen in die monomolekulare blaue oder grüne Form übergehen, wie die Pseudonitrole und das Chlornitrosoäthan, bis herauf zu solchen, die nicht blau schmelzen

Digitized by Google

und sich in Lösung als dimolekular erweisen, wie das Bisnitrosylbenzyl und Bisnitrosocaron. Beim Bisnitrosylbenzyl C_6H_5-$CH_2.N_2O_2.CH_2.C_6H_5$, einem primären Nitrokörper, der durch Oxydation von β-Benzylhydroxylamin $C_6H_5.CH_2.NHOH$ entsteht und wasserhelle Kristalle bildet, die nicht ganz scharf bei 128 bis 130° schmelzen, gelingt die Spaltung zwischen den beiden Stickstoffatomen noch beim Kochen seiner Lösung, ergibt dann aber statt eines Nitrosylbenzyls das desmotrope Benzaldoxim C_6H_5-$CH:NOH$, während unter der Wirkung von Chlorwasserstoffgas eine weniger durchsichtige Zersetzung erfolgt (unter anderem entsteht Benzoylhydrazin $C_6H_5.CO.NH.NH_2$). In den Bisnitroso- oder Bisnitrosylverbindungen gewisser Terpenketone (Menthon, Caron usw.), die sich als gut kristallisierte Körper bei der Einwirkung von Amylnitrit und Salzsäure oder Acetylchlorid auf die Ketone ausscheiden, ist augenscheinlich die Bindung zwischen den beiden Nitrosogruppen so stark, daß eine Spaltung unter der Wirkung alkoholischer Salzsäure nicht zwischen ihnen einsetzt, sondern einen Komplex mit zwei Stickstoffatomen und einen stickstofffreien liefert, nämlich ein Nitrosohydroxylaminketon, das hier den Namen Bisnitrosylsäure erhalten hat, und Monochlorketon. Auf Grund dieser Spaltung erscheint die Bisnitrosylverbindung als Ester eines Nitrosohydroxylamins:



Ist die N_2O_2-Gruppe nicht wie hier an tertiäre C-Atome, sondern wie im Bisnitrosylpulegon an sekundäre gebunden, so wird das Molekül von Säuren im gleichen Sinne, von Alkalien in 2 Moleküle Isonitrosoketon zerlegt. Eine Ausnahmestellung dieser Bisnitrosylverbindungen ist aber deshalb nicht aufrecht zu erhalten, weil ihre Lösungen wenigstens in der Hitze eine schwach blaugrüne Farbe aufweisen. Die Entstehung der Bisnitrosylsäuren (Nitrosohydroxylaminketone) bei der Spaltung mit Salzsäure kann einfach so erklärt werden, daß Nitrosoketon mit Nitroxyl NOH reagiert, welches sich aus einem anderen Molekül Nitrosoketon unter Bildung von Chlorketon abspaltet (vgl. oben Nitroxyl).

4a) Nitrosokohlenwasserstoffe. Es sind nur ein paar tertiäre Vertreter bekannt. Sie entstehen durch Oxydation von tertiären Aminen oder Hydroxylaminen, die man aus Nitrokörpern durch gemäßigte Reduktion erhält, vor allem mit Sulfomonopersäure (Carosche Lösung) H_2SO_5 oder mit Kaliumdichromat und Schwefelsäure oder in indifferenten Lösungsmitteln bei Abwesenheit von Wasser mit Silberoxyd. Die primären und sekundären Basen liefern dabei Oxime. Die Nitrosoparaffine sind leicht flüchtig, von eigentümlichem kampherartigen Geruch, in flüssiger Form blau, in fester wasserklare Kristalle. Nitrosotertiärbutan (Methyl-2-nitrosopropan) $(CH_3)_3$-$C.NO$ bildet glasglänzende Prismen, die in geschlossener Kapillare (der Schmelzpunkt liegt über dem Siedepunkt) bei 76 bis 76,5° schmelzen. Nitrosotertiärpenant $(CH_3)_2(C_2H_5)$-$C.NO$ schmilzt bei 50 bis 50,5° und Nitrosooctan (2,5-Dimethyl-2-nitrosohexan) $(CH_3)_2C$-$(NO).CH_2.CH_2.CH(CH_3)_2$ bei 54°. Nitrosobenzol und seine Homologen, die auch bei der Einwirkung von Nitrosylbromid und Stickstoffdioxyd auf die Quecksilberderivate der Kohlenwasserstoffe wie $(C_6H_5)_2Hg$ und von Nitrosylchlorid auf Phenylmagnesiumbromid: $C_6H_5MgBr + NOCl = MgBrCl + C_6H_5$-$NO$ erhalten werden, sind ebenfalls flüchtig, erinnern im Geruch an Chinon und Senföle und haben im flüssigen Zustande smaragdgrüne Farbe. Es schmelzen Nitrosobenzol $C_6H_5.NO$ bei 68°, o-, m-, p-Nitrosotoluol $CH_3.C_6H_4.NO$ bei 72°, 53° bezw. 48°, Nitrosonaphtalin bei 98°, nachdem es zuvor schon bei 85—86° flüssig geworden und wieder erstarrt ist. Nitrosobenzol existiert im schnell abgekühlten Schmelzfluß in zwei kristallisierten, doppeltbrechenden, physikalisch isomeren Modifikationen.

Bei der Reduktion liefern die Nitrosokohlenwasserstoffe Hydroxylamine und Amine, bei der Oxydation Nitrokörper, bei der Kondensation mit aromatischen Aminen Azokörper:

$$R.NO + H_2N.R_1 = R.N:N.R_1 + H_2O,$$

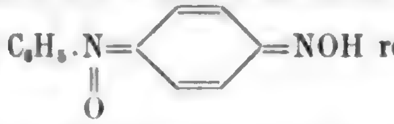
mit β-Phenylhydroxylaminen Azoxykörper:

$$R.NO + HN(OH)R_1 = R.\underbrace{N — N}_{O}.R_1 + H_2O$$

und mit Hydroxylamin und Alkali Antidiazotate (Isodiazobenzolmetalle):

$$R.NO + H_2NOH + KOH = R.N:NOK + 2H_2O.$$

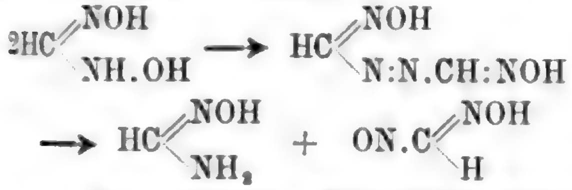
Sie vereinigen sich mit Phenylhydrazin $NH_2.NH.C_6H_5$ zu Azohydroxamiden $R.N$:$N.N(OH)C_6H_5$, mit Methylphenylhydrazin $NH_2N(CH_3)C_6H_5$ zu Azoamidoxyden $R.N$-$(:O):N.N(CH_3)C_6H_5$. Sie nehmen 2 Mol. Stickoxyd auf unter Bildung von Diazonitraten $R.N_2.NO_3$ und werden durch konzentrierte Schwefelsäure zu Nitrosodihydroxylaminen polymerisiert, z. B. zu p-Nitrosodiphenylhydroxylamin $C_6H_5.N(OH)C_6H_4.NO$,

einem Körper, der bei der Bildung von Salzen und Estern wahrscheinlich tautomer als  reagiert.

Aromatische Dinitrosokohlenwasserstoffe entstehen durch Erwärmung von o-Nitrodiazoimiden $R\begin{smallmatrix}N_3\\NO_2\end{smallmatrix}$ unter Abspaltung von Stickstoff, durch Oxydation von m-Dihydroxylaminverbindungen mit Eisenchlorid und durch Oxydation von p-Chinondioximen in alkalischer Lösung mit Ferricyankalium. o-Dinitrosobenzol bildet weiße Nadeln und schmilzt bei 72°, m-Dinitrosobenzol bei 146.5°, p-Dinitrosobenzol ist als weniglöslicher goldgelber Niederschlag dargestellt worden. p-Dinitrosotoluol $CH_3(1)C_6H_3(2,5)(NO)_2$ bildet gelbe Nadeln, schmilzt bei 133° und riecht erstickend chinonartig. 1,4-Dinitrosonaphthalin ist ein bei 120° verpuffendes Pulver, 1,2-Dinitrosonaphtalin schmilzt bei 127°.

Ein 1.2.3.4-Tetranitrosobenzol tritt als Produkt der Oxydation von Dichinoyltetroxim mit Natriumhypochlorit in Nadeln vom Schmelzpunkt 93° auf.

4b) Nitrosolsäuren $R.C(NO):NOH$ sind die mit den unbekannten Dinitrosokohlenwasserstoffen $R.CH(NO)_2$ tautomeren Nitrosoxime. Ihr Name ist nach dem der Nitrolsäuren $R.C(NO_2):NOH$ gebildet. Die Methylnitrosolsäure erhielt Wieland in Gestalt ihres prächtigen, blauvioletten, explosiven Kaliumsalzes durch Einwirkung von alkoholischem Kali auf eine Lösung von Formoxyamidoxim (aus Formamidoxim mit Hydroxylaminchlorhydrat):



Formamidoxim Methylnitrosolsäure.

Sie zerfällt leicht in Blausäure und salpetrige Säure, mit Alkali in untersalpetrige Säure und Knallsäure. Die Aethylnitrosolsäure $CH_3.C(NO):NOH$ und Benznitrosolsäure $C_6H_5.C(NO):NOH$ entstehen aus dem Acetoxyamidoxim oder Benzoxyamidoxim in derselben Weise. Durch Säuren werden diese in Lösung grünen Substanzen schnell zersetzt. Ihre Salze zeigen vielerlei Farben.

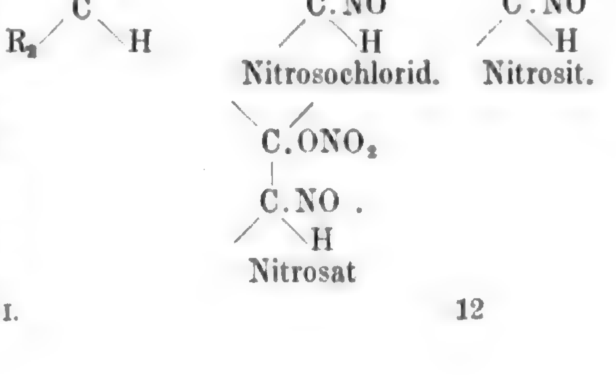
Eine Amidomethylnitrosolsäure (Nitrosoformamidoxim) $H_2N.C(NO):NOH$ entsteht bei der Einwirkung von alkoholischem Kali auf Dioxyguanidinbromhydrat (aus Bromcyan und Hydroxylamin) oder auch durch direkte Oxydation des Dioxyguanidins. Die freie Verbindung bildet smaragdgrüne Tafeln und verwandelt sich bei 38° oder nach kurzer Zeit mit Heftigkeit in einen gelben amorphen Körper. Ihr Kaliumsalz kristallisiert in stahlblauen explosiven Nadeln.

4c) Pseudonitrole $RR_1C(NO)NO_2$ siehe im Artikel „Nitroverbindungen".

4d) Nitrosochloride, Nitrosobromide, Nitrosite, Pseudonitrosite, und Nitrosate. Bei den halogenhaltigen Nitrosoverbindungen hat man zu unterscheiden zwischen solchen, die Halogen und Nitrosogruppe an demselben C, und solchen, die sie an benachbarten C tragen. Die ersteren entstehen bei der Einwirkung von Chlor und Brom auf Oxime, z. B.

$$\underset{\text{Acetoxim}}{(CH_3)_2C:NOH} + Br_2 = \underset{\text{meso-Bromnitrosopropan.}}{(CH_3)_2CBr.NO} + HBr$$

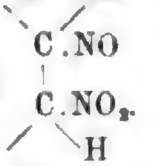
Diese Reaktion erinnert an die Bildung der Pseudonitrole aus Stickstoffdioxyd und Oximen. Die Eigenschaft dieser Nitrosohaloide, sich in Aether mit blauer Farbe zu lösen, kann in vielen Fällen zum Nachweis der Ketone dienen. Mit Silbernitrit setzen sie sich zu Pseudonitrolen um. Die Umlagerung des Monochlornitrosoäthans (dimolekular farblose Blättchen, die bei 65° zu monomolekularer blauer Flüssigkeit schmelzen) in Acethydroximsäurechlorid wurde schon erwähnt. Die letztere Verbindung schmilzt bei −3° und gibt ihrerseits mit Chlor Nitrosodichloräthan $CH_3.CCl_2.NO$, ein blaues, bei 68° siedendes Oel. Die halogenhaltigen Verbindungen der zweiten Art entstehen durch Anlagerung von Nitrosylchlorid oder Nitrosylbromid (in Lösung bequem durch Vermischung von Alkylnitrit mit Halogenwasserstoffsäure zu erhalten) an Aethylenverbindungen. Addition von Stickstofftrioxyd N_2O_3 (Natriumnitrit + Essigsäure) und Stickstofftetroxyd N_2O_4 (Alkylnitrit + Salpetersäure) ergibt die ganz entsprechenden Nitrosite (=Nitrosonitrite) und Nitrosate (=Nitrosonitrate). Mit der Nachbarschaft stark negativer Radikale erlischt ein solches Anlagerungsvermögen der Aethylenbindung. Liegt sie zwischen einem tertiären und einem sekundären oder primären C, so treten Cl, Br, ONO, ONO_2 an das tertiäre, NO an das sekundäre oder primäre C.



Nitrosochlorid. Nitrosit. Nitrosat

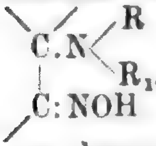
Digitized by Google

Statt der Nitrosite entstehen in mancherlei Fällen (beim Phellandren, Styrol, Anethol, Isosafrol, Phenylisocrotonester und dergleichen) die Pseudonitrosite

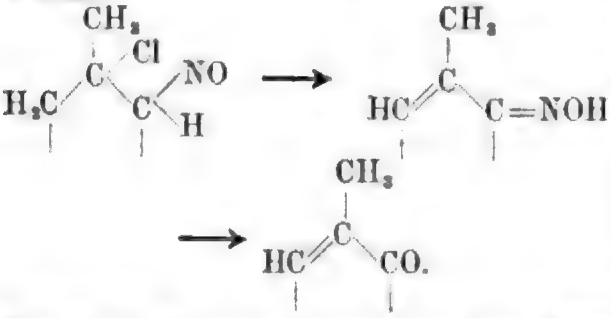


Bei den Umsetzungen der Nitrosite wird immer auch die Nitritgruppe angegriffen. Bei den Reaktionen der Pseudonitrosite bleibt die Nitrogruppe intakt; nur die Nitroso- (Bisnitroso-) Gruppe wird verändert, und zwar zerfallen die dimolekularen Pseudonitrosite je nach Art des Eingriffs entweder in 2 Mol. Nitroxime (Dissoziation und Umlagerung) oder in untersalpetrige Säure und ungesättigten Nitrokörper (Abspaltung).

Die Verbindungen sind in Lösung blau oder grün (monomolekular), in festem Zustande weiß (dimolekular). Bei chemischen Reaktionen geht die Nitrosogruppe, sofern sie an einem primären oder sekundären C steht, sofort in die Isonitrosogruppe über; z. B. bilden sich beim Austausch des Cl gegen Aminbasenreste Nitrolamine mit der Gruppe



Die Umsetzungsprodukte sind nun dauernd monomolekular. Abspaltung von HCl, HNO_2 oder HNO_3 aus Nitrosochloriden, Nitrositen oder Nitrosaten ergibt ungesättigte Oxime (z. B. Nitrosopinen, Carvoxim), und deren Hydrolyse ungesättigte Ketone:



Zuweilen wird unter Abspaltung von NOCl die ursprüngliche Verbindung regeneriert. Reduktion der Nitrosochloride, Nitrosite und Nitrosate mit Zinkstaub in saurer Lösung liefert Amine und Ketone nebeneinander, gelinde Reduktion der Pseudonitrosite aber Diamine.

Von besonderem Interesse sind die Derivate des Trimethyläthylens, weil an ihnen die Isomerie zwischen Nitroso- und Isonitrosoform eingehend studiert wurde (siehe oben); der chemische Unterschied zwischen Trimethyläthylennitrosit (I) und -isonitrosit (II)

äußert sich darin, daß nur II direkt alkalilöslich ist, sich mit Phenylisocyanat und mit Benzoylchlorid, also Reagentien auf Hydroxylgruppen, umsetzt und beim Behandeln mit Säuren Hydroxylamin abspaltet. In der Chemie der Terpene und ätherischen Oele haben die Nitrosochloride, Nitrosite und Nitrosate durch die Arbeiten O. Wallachs als Mittel zur Charakterisierung und zum Nachweis vieler Kohlenwasserstoffe Bedeutung gewonnen und in der Aufklärung der Zusammenhänge zwischen Terpenen und Terpenketonen eine hervorragende Rolle gespielt.

4e) Nitrosoderivate anderer Körperklassen. In den Nitrosoketonen, Nitrosocarbonsäuren, Nitrosophenolen, Nitrosanilinen usw. gibt sich die Nitrosogruppe ganz wie in den Nitrosokohlenwasserstoffen durch blaue oder grüne Farbe der Substanzen oder wenigstens ihrer Lösungen kund. Ist die Substanz in festem Zustande weiß oder farblos, so ist sie auch hier dimolekular (z. B. in den Bisnitrosylverbindungen von Terpenketonen). Die Vertreter der aliphatischen Reihe werden wie die Nitrosokohlenwasserstoffe durch Oxydation von tertiären Amin- und Hydroxylaminverbindungen dargestellt. In der aromatischen Reihe kommt für die Phenole und tertiären Aniline noch die direkte Nitrosierung in Betracht, bei der das NO in p-Stellung zum OH oder NR_2 eintritt. Resorcin als zweiwertiges Phenol bildet dabei eine Dinitrosoverbindung. Hierher gehört die Umlagerung von aromatischen Nitrosaminen in p-Nitrosaniline unter dem Einfluß starker Salzsäure. p-Nitrosophenol ist tautomer mit Chinonmonoxim (vgl. den Artikel „Chinone") und entsteht darum auch aus Chinon und Hydroxylaminchlorhydrat. Merkwürdig ist die Umlagerung zu o-Nitrosobenzoesäure $C_6H_4(NO)COOH$, welche o-Nitrobenzaldehyd $C_6H_4(NO_2)CHO$ im Sonnenlichte erleidet. p-Nitrosophenol $ON.C_6H_4.OH$ oder p-Benzochinonmonoxim $HON:C_6H_4:O$ kristallisiert aus heißem Wasser in feinen, farblosen, sich leicht bräunenden Nadeln, aus Aether in grünbraunen großen Blättern, löst sich mit hellgrüner Farbe, verpufft bei 110 bis 120° und bildet ein Natriumsalz (rote Nadeln mit $2H_2O$). Es stellt das erste Produkt der Liebermannschen Nitrosoreaktion vor. Nitroso-o-kresol, aus o-Kresol oder aus Toluchinon, schmilzt bei 134°, Nitrosothymol bei 160°.

p-Nitrosanilin $ON.C_6H_4.NH_2$ bildet stahlblaue Nadeln von Schmelzpunkt 173°, p-Nitrosomonomethylanilin $ON.C_6H_4.NH.CH_3$ blauschillernde Blätter (F. P. 118°), p-Nitrosodimethylanilin $ON.C_6H_4.N(CH_3)_2$ große grüne Blätter (F. P. 85°), und p-Nitrosodiphenylanilin $ON.C_6H_4.NH.C_6H_5$ grüne Tafeln

(F. P. 143°). Die Nitrosoderivate der sekundären und tertiären aromatischen Amine werden beim Kochen mit Natronlauge in Nitrosophenol und Alkylamine gespalten, z. B.

$$ON.C_6H_4.N(CH_3)_2+H_2O=ON.C_6H_4.OH+HN(CH_3)_2.$$

Sie haben Bedeutung für die Farbstoffindustrie. Die Nitrosogruppe in ihnen vermag mit einer CH_2-Gruppe, die unter dem Einfluß negativer Gruppen steht, unter Kondensation der beiden Moleküle zu reagieren, z. B.

$$R_2N.C_6H_4.NO + \underset{\underset{\text{Benzylcyanid.}}{C_6H_5}}{H_2C.CN} = R_2N.C_6H_4.N:\underset{C_6H_5}{C.CN} + H_2O.$$

Literatur. *Lehr- und Handbücher s. im Artikel „Nitroverbindungen". — Ferner:* ***J. Schmidt****, Die Nitrosoverbindungen. Sonderausgabe aus der Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge. Herausgeg. von B. Ahrens. Stuttgart 1903. —* ***Derselbe****, Nitrosogruppe. Artikel in dem Handbuch „Die Methoden der organischen Chemie". Herausgeg. v. Th. Weyl. Leipzig 1911. —* ***O. Wallach****, Terpene und Campher. Leipzig 1909.*

H. Wienhaus.

Nitroverbindungen.

1. Allgemeines: a) Unterscheidung gegen Isomere. b) Struktur. c) Desmotropie. d) Chemische Umwandlungen der Nitrogruppe. 2. Anorganische Nitroverbindungen: a) Stickstoffdioxyd. b) Nitrylhaloide. c) Nitramid. d) Nitrohydroxylaminsäure. e) Nitrosulfamid. f) Nitrometalle usw. 3. Organische Nitroverbindungen, deren Nitrogruppe an Stickstoff gebunden ist: a) Nitramine. b) Nitrimine. 4. Organische Nitroverbindungen, deren Nitrogruppe an Kohlenstoff gebunden ist: a) Nitrokohlenwasserstoffe. b) Di- und Polynitrokohlenwasserstoffe. c) Nitrolsäuren und Pseudonitrole. d) Nitroderivate anderer Körperklassen.

1. **Allgemeines.** 1a) Unterscheidung gegen Isomere. Die Nitrokörper enthalten die einwertige Gruppe $-NO_2$. Sie sind Isomere der Nitrite mit dem Rest der salpetrigen Säure $-O.NO$. In den Nitroverbindungen vermittelt das Stickstoffatom, in den Nitriten ein Sauerstoffatom die Bindung an das andere Radikal des Moleküls. Als solche Radikale sind für die anorganischen Nitroverbindungen nur Halogen- und Metallatome sowie der einfache und substituierte Ammoniakrest zu nennen. Die zahlreichen organischen Nitrokörper scheiden sich in zwei Gruppen, je nachdem ein Kohlenstoff- oder ein Stickstoffatom des organischen Restes die Nitrogruppe trägt. Dagegen fällt die Kombination der Nitrogruppe mit Hydroxyl $-OH$ oder sonst einem Radikal $-OR$, nämlich die Salpetersäure $HO.NO_2$ samt ihrem Anhydrid, ihren Salzen und Estern, und die Untersalpetersäure $ONO.NO_2$, also jegliche Verbindung, in der ein Sauerstoffatom mit der Nitrogruppe verknüpft ist, nicht unter den Begriff Nitroverbindungen. Es ist eben daran festzuhalten, daß die Nitroverbindungen Isomere der Nitrite sind.

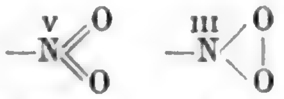
Die Namen von Salpetersäureestern des Glycerins und einiger Kohlenhydrate: Nitroglycerin, Nitrocellulose usw. sind demnach nicht zutreffend.

Der Ansicht, daß in den Bleikammerkristallen der Schwefelsäurefabrikation Nitrosulfonsäure $O_2N.SO_3H$ vorliegt, steht die allgemeiner angenommene Auffassung gegenüber, daß es sich um Nitrosylschwefelsäure $ONO.SO_3H$ handelt; vielleicht bestehen in Lösung beide tautomere Formen nebeneinander. Ebenso schwer zu entscheiden ist die Frage, ob in Komplexsalzen die Gruppen, welche durch Austausch gegen Halogen bei der Umsetzung mit Silber- oder Natriumnitrit eintreten, die Nitrit- oder die Nitrostruktur besitzen.

Isomer mit den Nitroverbindungen sind noch die Nitrosooxyverbindungen $ON.R.OR_1$. Einzelne von diesen haben ihren Namen vor der Erkennung ihrer Struktur erhalten; daher unpräzise Bezeichnungen wie Isonitraminfettsäuren und Dinitroalkylsäuren. Sie werden bei den Nitrosoverbindungen eingereiht.

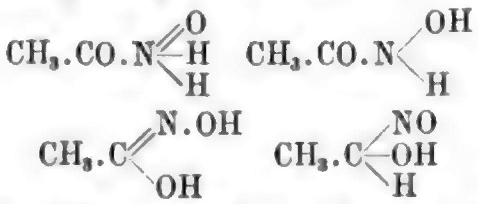
Ebensowenig gehören die Nitroprusside zu den Nitrokörpern; sie sind Eisennitrosoverbindungen.

1b) Struktur. In der Nitrogruppe können die Atome in zweierlei Weise angeordnet sein:

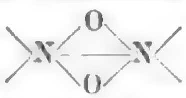


Die erste Formulierung ist die gebräuchliche, die zweite geht nach Brühl aus spektrochemischen Messungen hervor. Eine Entscheidung auf rein chemischem Wege ist nicht getroffen worden.

Die für das Nitroäthan $CH_3.CH_2.NO_2$ verfochtenen Formeln



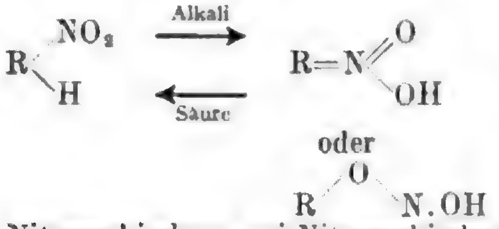
gehören der Vergangenheit an. Aus dem optischen Verhalten leitete Brühl ab, daß in den Nitraminen die NO_2-Gruppe anders konstituiert sei als in den Nitrokohlenwasserstoffen, und zwar gab er dem Nitraminrest das Strukturbild



Das chemische Verhalten nötigt aber nicht, von der Formulierung $>N.NO_2$ abzuweichen.

Digitized by Google

1c) Desmotropie. Enthält eine Substanz an demselben Atom, das die Nitrogruppe trägt, noch ein Wasserstoffatom, so vermag sie, obwohl die Nitroverbindungen an sich neutral reagieren, mit Basen Salze zu bilden, das Wasserstoffatom gegen ein Metallatom auszutauschen. Offenbar macht die elektronegative Nitrogruppe (vgl. den Artikel „Gruppen") das Wasserstoffatom beweglicher, reaktionsfähiger. Der Auffassung, daß die Wirkung der Nitrogruppe lediglich eine induzierende sei und daß die Nitroverbindungen $RHNO_2$ ohne Atomverschiebung in ein Salz $RMeNO_2$ übergehen (V. Meyer), wurde später die Ansicht gegenübergestellt, daß in den Salzen der Nitroverbindungen (gleichwie in den Salzen des Acetessigesters, Malonesters usw.) das Metall an Sauerstoff und nicht etwa an Kohlenstoff gebunden sei (Michael, Nef). In den Vordergrund trat diese Annahme einer Atomverschiebung, als es gelang einzelne Nitrokörper durch Zerlegung ihrer Salze in einer zweiten isomeren (desmotropen) Form zu gewinnen. Allgemeine Anerkennung verschafften ihr weiterhin die Untersuchungen von Hantzsch über die Pseudosäuren. Es zeigte sich, daß die Umsetzung von Alkalien mit der isomeren Form augenblicklich mit einer „echten Nitroverbindung" dagegen in meßbarer Zeit erfolgt; also daß sich das eine Mal eine Ionenreaktion, das andere Mal vor der Salzbildung noch eine Umlagerung der an sich nicht ionisierten, den elektrischen Strom kaum leitenden Verbindung abspielt. Die einfachste Erklärung für die Desmotropie und den Neutralisationsvorgang bieten folgende Formeln:

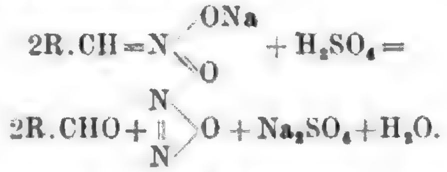


Echte Nitroverbindung, Pseudosäure. aci-Nitroverbindung, Isonitroverbindung, Nitronsäure.

Die Hydroxylgruppe der aci-Formen gibt sich durch die lebhafte Reaktion mit Phenylisocyanat kund, die von echten Nitroverbindungen nicht hervorgerufen wird. Auch die Umsetzung des Phenylnitromethannatriums mit Benzoylchlorid (s. unten) spricht für die angenommene Struktur der Salze. Auf Zugabe von Eisenchlorid nehmen die (alkalischen) Lösungen der aci-Formen meist eine tiefrote Färbung an, die beim Schütteln mit Aether in diesen übergeht; die Lösungen der echten Nitroverbindungen bleiben ungefärbt, da sie keine Eisensalze zu bilden vermögen.

Die aci-Formen sind in freiem Zustande labil und haben das Bestreben sich in die echten Nitroverbindungen zurückzuverwandeln. Auch da, wo sie nicht isoliert werden konnten, z. B. bei den Nitroparaffinen, geht ihre Existenz aus den Leitfähigkeitsänderungen ihrer Lösung hervor, wenn man sie aus ihren Salzen durch 1 Aequivalent Säure in Freiheit setzt (Holleman). Die Messungen zeigen an, daß meist eine ganz allmähliche Rückverwandlung in die echten Nitrokörper stattfindet. Ist das Salz farbig, die zugehörige echte Nitroverbindung farblos, so wird die langsame Umwandlung oft durch langsame Entfärbung nach dem Säurezusatz angezeigt.

Die Konstitution der Nitroparaffinsalze geht auch aus der Spaltung in Stickoxydul und Aldehyd oder Keton hervor, die sie durch überschüssige Mineralsäuren erleiden:



Befindet sich die Nitrogruppe an einem tertiären Kohlenstoff oder einem sekundären Stickstoffatom, also nicht in nächster Nachbarschaft zu einem Wasserstoffatom, so erscheint die Enolisierung zu einem aci-Körper nicht möglich, und in der Tat bilden derartige Nitroverbindungen weder Salze noch kennt man eine desmotrope Form von ihnen. Die Nitrophenole und Nitraniline sind hier auszunehmen, sie zeigen besondere Verhältnisse (siehe unten 4d).

Infolge ihres Unvermögens, Salze zu bilden, geben die tertiären Nitroverbindungen auch die Eisenchlorid-Reaktion nicht und bieten dadurch ein Mittel, neben ihnen primäre und sekundäre Nitroverbindungen nachzuweisen, das um so sicherer ist, je mehr der Kohlenstoffgehalt steigt. Ein zweites Mittel, das in umgekehrter Richtung an Schärfe zunimmt, werden wir bei den Nitrolsäuren und Pseudonitrolen kennen lernen.

1d) Chemische Umwandlungen der Nitrogruppe. Die Nitrogruppe ist chemischen Mitteln gegenüber, sofern sie nicht reduzierend wirken, recht beständig. Auch haftet sie meist fest an dem mit ihr verbundenen Radikal. Das unterscheidet sie wesentlich von der isomeren Nitritgruppe. Sogar starke Säuren, die Chloride des Phosphors usw. lassen bei gewöhnlicher Temperatur die Nitrogruppe (nicht aber die desmotropen aci-Formen) unbehelligt. Das Verhalten gegen Alkalien, die Salzbildung bezw. Indifferenz, wurde im vorigen Kapitel besprochen. Die Nitrite dagegen werden als Ester durch Säuren und Alkalien verseift, in salpetrige Säure und Alkohole zerlegt. Allerdings werden auch die anorganischen Nitrokörper von verdünnten und die organischen leichter oder schwerer von starken

Alkalien angegriffen, doch findet dann keine einfache Spaltung, sondern eine tiefgreifende Zersetzung des Moleküls statt. Eigentümlich ist die Wirkung heißer konzentrierter Salzsäure auf primäre Nitroparaffine: als Spaltstücke treten die Fettsäure derselben Reihe und Hydroxylamin auf. Man kann diese Reaktion durch eine intermediäre Umlagerung des Nitrokörpers in eine Hydroxamsäure (vgl. oben: ältere Nitroäthanformeln) erklären:

$$RCH_2{-}NO_2 \longrightarrow RC\begin{matrix}\diagup NOH\\ \diagdown OH\end{matrix} \xrightarrow{H_2O} \begin{matrix}H_2NOH\\ RCO.OH.\end{matrix}$$

Reduzierende Mittel, die aus Nitriten leicht das Stickstoffatom abspalten, heben den Zusammenhang der Nitrogruppe mit dem anderen Radikal nicht auf, führen vielmehr Nitramid $NH_2.NO_2$ und Nitramine in Hydrazin $NH_2.NH_2$ und dessen Alkylderivate, Nitroparaffine $R.NO_2$ in Amine $R.NH_2$, Nitrobenzol und seine Verwandten in Aniline über. Die jeweiligen Zwischen- und Nebenprodukte finden bei den einzelnen Körperklassen Erwähnung.

2. **Anorganische Nitroverbindungen** (vgl. auch „Stickstoff" im Artikel „Stickstoffgruppe"). 2a) Stickstoffdioxyd NO_2. Stickstoffdioxyd kann als die einfachste Nitroverbindung angesehen werden. In dem Molekül sind die Valenzen — wie auf der Hand liegt — nicht vollständig gegeneinander abgesättigt. Man hat die Wahl zwischen den Formeln

$$-N\begin{matrix}\diagup O\\ \diagdown O\end{matrix} \qquad -N\begin{matrix}\diagup O\\ |\\ \diagdown O\end{matrix} \qquad -O{-}N{=}O.$$

Der ungesättigte Zustand äußert sich im chemischen Verhalten und der Polymerisation der braunen Gase zur farblosen Untersalpetersäure $ON.O.NO_2$. Ueber Entstehung und Eigenschaften vgl. den Artikel „Stickstoff".

2b) Nitrylhaloide. Ihre Formeln leiten sich aus der Formel der Salpetersäure durch Ersatz des Hydroxyls gegen Halogen ab. Die Bindung zwischen der Nitrogruppe und dem Halogenatom ist sehr locker, viel lockerer als in den Nitrosylhaloiden ON.Hal. Das Jodid scheint sich überhaupt nicht zu bilden und auch die Existenz des Bromids und Chlorids ist neuerdings zweifelhaft geworden. Das Nitryl- oder Salpetersäurefluorid wird als farblose, stark stechend riechende Flüssigkeit erhalten, wenn man Stickoxyd und Fluor bei sehr niedriger Temperatur (in siedendem Sauerstoff) zusammentreten läßt:

$$2NO + F = O_2N.F + N.$$

Es erstarrt bei —139°, siedet bei —63,5° und hat in Gasform die Dichte 2,24. Als Säurehaloid wird es von Wasser in Salpetersäure und Fluorwasserstoff zerlegt. Es besitzt große chemische Energie. Nitrylchlorid und -bromid sollen sich bilden, wenn man Stickstoffdioxyd mit den Halogenen durch ein schwach glühendes Rohr leitet oder auf chlor- bezw. bromchromsaures Kalium $CrO_2(Hal.)OK$ einwirken läßt und durch andere Reaktionen. Vom Nitrylchlorid wird angegeben, es sei eine gelbe Flüssigkeit, die bei +5° siede.

2c) Nitramid $O_2N.NH_2$. Nitramid wurde 1895 von J. Thiele und A. Lachman durch Eintragen des aus Urethan $H_2N.COOC_2H_5$ dargestellten Kaliumsalzes der Nitrocarbaminsäure $O_2N.NK.COOK$ in eisgekühlte Schwefelsäure gewonnen:

$$O_2N.NK.COOK \longrightarrow O_2N.NH.COOH$$
$$\longrightarrow O_2N.NH_2 + CO_2.$$

Es wird der wässerigen Lösung, die man mit Ammoniumsulfat sättigt, durch Aether entzogen. Auch aus den rein anorganischen Verbindungen Imido- und Nitrilosulfonsäure $HN(SO_3H)_2$ und $N(SO_3H)_3$ entsteht es in geringer Menge, wenn man ihre Lösung in konzentrierter Schwefelsäure bei —15° mit konzentrierter Salpetersäure versetzt und dann auf Eis gießt; vermutlich bildet sich zunächst eine Zwischenverbindung $O_2N.N(SO_3H)_2$, deren Sulfogruppen durch Wasser abgetrennt werden. Aus der ätherischen Lösung durch Ligroin gefällt, bildet Nitramid glänzende weiße Blätter, die bei 72 bis 75° unter fast momentaner Zersetzung schmelzen. Es ist etwas flüchtig, reagiert in wässeriger Lösung sauer und ist darin nur in geringem Maße dissoziiert, wie die elektrische Leitfähigkeit zeigt. Alkalien, Kupferoxyd, selbst Glaspulver zerlegen es augenblicklich in Stickoxydul und Wasser, starke Alkalilaugen sogar unter Feuererscheinung. Als einziges Metallderivat konnte darum nur ein sehr empfindliches Mercurisalz N_2O_2Hg als weißer Niederschlag durch Umsetzung des Nitramids mit Mercurinitrat in wässeriger Lösung bei 0° isoliert werden. Der Zerfall wird vermutlich dadurch hervorgerufen, daß das Nitramid $O_2N.NH_2$ unter der Wirkung des Alkalis die tautomere Form eines Imids der Salpetersäure

$$HN{=}N\begin{matrix}\diagup O\\ \diagdown OH\end{matrix} \quad (\text{oder } HN\overset{O}{\diagup\,\diagdown}N.OH)$$

annimmt, aus der sich leicht Stickoxydul bilden mag. Hantzsch erblickt dagegen in dem Nitramid ein Stereoisomeres der untersalpetrigen Säure:

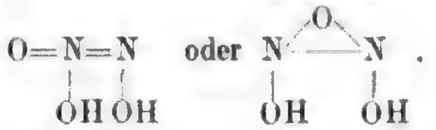
$$\begin{matrix}N.OH\\ \|\\ N.OH\end{matrix} \qquad\qquad \begin{matrix}HO.N\\ \|\\ N.OH\end{matrix}$$

Nitramid, Syndiazohydrat — Untersalpetrige Säure, Antidiazohydrat.

Digitized by Google

Ersatz der Wasserstoffatome durch Methyl mit Hilfe von Diazomethan gibt aber (neben Sauerstoffäthern) Dimethylnitramin $O_2N.N(CH_3)_2$ (s. unten). Gegen Oxydationsmittel ist Nitramid beständig, durch Reduktion wird es in Hydrazin oder Diamid $H_2N.NH_2$ übergeführt.

2d) Nitrohydroxylaminsäure



Nitrohydroxylaminsäure, die tautomere Form des Nitrohydroxylamins $O_2N.NH.OH$, ist nur in Gestalt von Salzen bekannt. Das Natriumsalz $N_2O_3Na_2$ wurde 1896 von A. Angeli erhalten, als er auf eine Lösung von Hydroxylamin in Alkohol bei Gegenwart von Natriumhydroxyd Salpetersäureester einwirken ließ. In Freiheit gesetzt, zerfällt die Säure augenblicklich einerseits in Stickoxyd und Wasser, andererseits in salpetrige und untersalpetrige Säure:

$$N_2O_3H_2 = 2NO + H_2O$$
$$2N_2O_3H_2 = 2NO_2H + (NOH)_2.$$

Das Natriumsalz ist in Wasser, in dem es sich spielend leicht löst, sehr zersetzlich. Das Molekül wird zwischen den beiden Stickstoffatomen gespalten. Neben Natriumnitrit entsteht dabei Nitroxyl und dieses kann sich nun mit Aldehyden zu Hydroxamsäuren R.C(:NOH)OH umsetzen. Da die Hydroxamsäuren auf Zugabe von Eisenchlorid und Kupferacetat Salze von tiefer Farbe bilden, so ist diese Reaktion zum Nachweis von Aldehyden und zu ihrer Unterscheidung von Ketonen empfohlen worden. Sich selbst überlassen, vereinigen sich zwei Moleküle Nitroxyl zu untersalpetriger Säure, die beim Kochen der Lösung in ihr Anhydrid, gasförmig entweichendes Stickoxydul, übergeht. Erhitzt man das trockene Salz, so erhält man die untersalpetrige Säure in Form ihres Natriumsalzes neben dem salpetrigsauren Salz. Die Lösung wird schon von Luftsauerstoff im wesentlichen zu Nitrit, von Kaliumpermanganat gleich bis zum Nitrat oxydiert. Ein Ammoniumsalz war nicht zu isolieren. Die Erdalkalisalze sind schwer löslich. Das Silbersalz zersetzt sich bald freiwillig.

2e) Nitrosulfamid $O_2N.NH.SO_2.NH_2$. Nitrosulfamid, im Jahre 1911 von F. Ephraim und E. Lasocki aufgefunden, fällt in fester Form aus, wenn man in eine stark gekühlte Lösung von Sulfamid $H_2N.SO_2.NH_2$ in konzentrierter Salpetersäure vorsichtig konzentrierte Schwefelsäure tropfen läßt. Die weiße Substanz löst sich leicht in Wasser, Alkohol und Aether und verpufft schon bei geringer Erwärmung. Sie ist eine zweibasische Säure, gibt ein in Wasser unlösliches Silbersalz und wird von Zink zum Amid der Hydrazinsulfosäure $H_2N.NH.SO_2.NH_2$ reduziert, das allerdings in der schwefelsauren Lösung gleich hydrolysiert wird. In der Reduktionsflüssigkeit ließen sich Hydrazino- und Aminosulfonsäure $H_2N.NH.SO_2OH$ und $H_2N.SO_2.OH$ nachweisen.

2f) Nitrometalle usw. Während flüssige Untersalpetersäure manche Metalle unter Entwickelung von Stickoxyd in Nitrate verwandelt, wird sie in der Kälte von frisch mit Wasserstoff reduziertem Kupfer, Nickel, Kobalt und Eisen unter Wärmeentwickelung zu sogenannten Nitrometallen wie Cu_2NO_2, Ni_4NO_2, Co_2NO_2 aufgenommen. Die braunen oder schwarzen Pulver spalten sich beim Erwärmen unter geringer Metalloxydbildung in die Komponenten, werden von Wasser energisch angegriffen und in Metall, Metallnitrit und -nitrat sowie Stickoxyd zerlegt. Ihrer Struktur nach scheinen sie mit den Metallcarbonylen verwandt zu sein.

Aehnlich dem Stickoxyd verbindet sich Stickstoffdioxyd in der Kälte mit einer Reihe von Metallhaloiden, u. a. zu $BiCl_3.NO_2$, $SnCl_4.NO_2$, $FeCl_3.NO_2$, $(FeCl_3)_4.NO_2$.

Kocht man Magnesiumphosphat mit Salpetersäure und vertreibt dann die überschüssige Säure durch Erhitzen, so wird das Phosphat in eine kristallinische Verbindung von der Zusammensetzung $(MgHPO_4)_2.NO_2$ verwandelt, aus der beim starkeren Erhitzen Stickstoffdioxyd und Wasser entweicht. Es ist zweifelhaft, ob in dieser und den vorigen Substanzen wahre Nitrokörper vorliegen.

3. Organische Nitroverbindungen, deren Nitrogruppe an Stickstoff gebunden ist (vgl. auch den Artikel „Ammoniakderivate").

3a) Nitramine. Nitramine sind Abkömmlinge des Nitramids mit 1 oder 2 organischen Resten, also $O_2N.NH.R$ und $O_2N.NRR_1$. Sie wurden 1883 von Franchimont entdeckt.

α) Die Monoalkylnitramine (saure Nitramine) sind isomer mit den sogenannten Nitrosohydroxylaminen ON.N(OH)R, die zum Teil Isonitramine genannt worden sind (vgl. den Artikel „Nitrosoverbindungen"). Man erhält die Monoalkylnitramine, wenn man Monoalkylurethane $R.NH.COOR_1$ oder Dialkyloxamide R.NH.CO.CO.NH.R mittels reiner konzentrierter Salpetersäure nitriert, aus den Nitroverbindungen $R.N(NO_2)$-$COOR_1$ oder $R.N(NO_2).CO.CO.N(NO_2).R$ durch Ammoniak den Nitraminrest in Form von Nitramin-Ammoniumsalz und aus diesem Salz durch verdünnte Schwefelsäure oder Kochen mit Alkohol das Ammoniak abspaltet. In geringer Menge entstehen die Nitramine auch durch Umsetzung von Chloraminen mit Silbernitrit:

$$R.NHCl + AgNO_2 = R.NH.NO_2 + AgCl.$$

Die von Bamberger aufgefundenen Vertreter der aromatischen Reihe gehen (neben Verbindungen anderer Art) aus Anilin und seinen Substitutionsprodukten hervor entweder durch Einwirkung von Stickstoff-

Digitized by Google

pentoxyd auf die ätherische Lösung bei −20° nach der Gleichung:

$$2R.NH_2 + N_2O_5 = 2R.NH.NO_2 + H_2O$$

oder durch Wasserentziehung aus den Nitraten dieser Basen mit Hilfe von Essigsäureanhydrid:

$$R.NH_3.ONO_2 = R.NH.NO_2 + H_2O.$$

Die letztere Reaktion versagt bei den Naphtylaminen. Die Einführung der Nitrogruppe in die Amingruppe NH_2 durch direkte Nitrierung, das heißt durch Einwirkung von Salpetersäure, ist bisher bei den primären Aminen mit reinen Kohlenwasserstoffresten nicht gelungen. Wohl aber kennt man in der aromatischen Reihe einige Beispiele, wo substituierte Nitramine durch Behandlung gewisser substituierter primärer Amine (o- und p-Nitranilin, Dinitranilin, 1,2- und 1,4-Aminosulfosäuren [unter Verdrängung der Sulfogruppe], Aminoanthrachinone und ihre Derivate) mit konzentrierter Salpetersäure gebildet werden. Phenylnitramin oder Nitranilid wurde zuerst durch Oxydation des Diazobenzols mit Kaliumferricyanid oder Kaliumpermanganat in alkalischer Lösung erhalten:

$$\underset{\text{Diazobenzol}}{C_6H_5.N(:N)OH} \xrightarrow{\text{Alkali}} \underset{\text{Phenylnitrosamin, Isodiazobenzol}}{C_6H_5.NH.NO}$$

$$\xrightarrow{\text{O}} \underset{\text{Phenylnitramin}}{C_6H_5.NH.NO_2}$$

und deshalb mit dem Namen Diazobenzolsäure belegt. Es bildet sich auch bei der Zersetzung von Diazobenzolperbromid mit wässerigem Alkali:

$$C_6H_5NBr.NBr_2 + 2H_2O = C_6H_5NH.NO + 3HBr.$$

Die Monoalkylnitramine besitzen die Merkmale der Pseudosäuren (siehe oben):

$$R.NH.NO_2 \rightleftarrows R.N:N{\langle}^{O}_{OH}$$

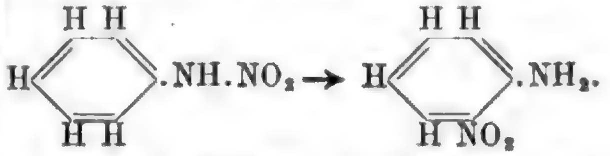
oder

$$R.N\overset{O}{\triangle}N.OH.$$

neutrale Form undissoziiert — saure Form, dissoziiert in $R.N_2O_2'$ und H·Ionen

Methylnitramin bildet lange flache Nadeln und schmilzt bei 38°. Sein Kaliumsalz $CH_3.N:NOOK$ explodiert heftig durch Erhitzen oder Schlag. Aethylnitramin schmilzt bei 3°. Phenylnitramin bildet weiße perlmutterglänzende Blättchen, schmilzt bei 46—46,5°, verpufft bei etwa 100°, ist in kaltem Wasser ziemlich schwer löslich, spielend leicht dagegen in Alkalien.

Die aliphatischen Nitramine geben mit Anilin gelbe, mit α-Naphtylamin und Phenylendiamin rote und mit Dimethylanilin grüne Farbstoffe, wenn man sie in essigsaurer Lösung mit diesen Basen und einem Stück Zink zusammenbringt. Während Phenylnitramin gegen Alkalien auch in der Hitze sehr beständig ist, wird es durch Mineralsäuren, aber auch schon im Licht äußerst leicht zum isomeren o- (und p-) Nitranilin umgelagert (intramolekulare Wanderung des NO_2):



Demnach sind die aromatischen Nitramine Zwischenprodukte bei der gewöhnlichen Nitrierung aromatischer Basen:

$$R.NH_2 \rightarrow R.NH_3.ONO_2 \rightarrow R.NH.NO_2 \rightarrow R(NO_2).NH_2.$$

Durch salpetrige Säure werden die aromatischen Nitramine glatt in Diazonitrate (Diazobenzolnitrat ist $C_6H_5N_2.ONO_2$) übergeführt. Die Reduzierbarkeit der Nitramine zu Alkylhydrazinen wurde schon im allgemeinen Teil erwähnt. Phenylnitramin liefert in alkalischer Lösung mit Natriumamalgam oder Zinkstaub zunächst Phenylnitrosamin (Isodiazobenzol) $C_6H_5.NH.NO$, dann Phenylhydrazin $C_6H_5.NH.NH_2$, in essigsaurer Lösung mit Zinkstaub hauptsächlich Diazobenzol $C_6H_5.N_2.OH$. Aus den aromatischen Nitraminen, die im Kern schon nitriert sind, kann man die Amine wieder herstellen (NO_2 gegen H austauschen), wenn man die Substanzen mit anderen nitrierbaren Verbindungen (Phenolen usw.) erhitzt (extramolekulare Wanderung des NO_2).

β) Denkt man sich in den beiden tautomeren Formen (s. oben) eines Monoalkylnitramins das Wasserstoffatom durch ein zweites Alkyl ersetzt, so gelangt man zu zwei verschiedenen Estern (neutralen Nitraminen), zu den eigentlichen Dialkylnitraminen (N-Verbindungen) $RR_1N.NO_2$ und zu den isomeren Dialkylisonitraminen (O-Verbindungen) $R.N:N{\langle}^{OR_1}_{O}$. Nebeneinander bilden sich die beiden Isomeren bei der Reaktion von Diazomethan mit Nitramid (s. oben) und mit Monoalkylnitraminen sowie bei der Umsetzung des Silbersalzes eines Monoalkylnitramins mit einem Alkylhaloid:

$$R.N_2O_2Ag + R_1Hal = RR_1N_2O_2 + AgHal$$

und auch bei der Zersetzung (Destillation) von Monoalkylnitraminen. Als Bildungsweisen der eigentlichen Dialkylnitramine sind noch zu nennen die Einwirkung von Alkylhaloiden auf Alkalisalze der Monoalkylnitramine,

Digitized by Google

von Kaliumnitrit auf Monoalkylnitramine, die Wasserabspaltung aus Dialkylammoniumnitraten mit Essigsäureanhydrid:

$$RR_1NH_2.ONO_2 = RR_1N.NO_2 + H_2O$$

und der Austausch von Säureresten, die an Dialkylamine gebunden sind, gegen die Nitrogruppe bei der Behandlung mit höchst konzentrierter Salpetersäure:

$$\underset{\text{aus Benzolsulfochlorid + Dimethylamin.}}{C_6H_5.SO_2.N(CH_3)_2} \rightarrow O_2N.N(CH_3)_2$$

$$\underset{\text{Dialkylharnstoff}}{NH_2.CO.NR_2} \rightarrow O_2N.NR_2.$$

Disubstituierte Nitramine $RN(NO_2)R_1$ der aromatischen Reihe erhält man bei der Einwirkung von rauchender Salpetersäure auf mono- und dialkylierte Aniline. Aus den letzteren wird dabei eine Alkylgruppe abgespalten.

$$\left.\begin{array}{l}\underset{\text{Monomethylanilin}}{C_6H_5.NH.CH_3} \\ \underset{\text{Dimethylanilin}}{C_6H_5.N(CH_3)_2}\end{array}\right\} \rightarrow \underset{\text{Trinitrophenylmethylnitramin}}{C_6H_2(NO_2)_3.N\begin{array}{l}\diagup CH_3 \\ \diagdown NO_2\end{array}}$$

Auch Nitrosamine $RN(NO)R_1$ werden so in Nitramine $RN(NO_2)R_1$ verwandelt.

In praxi findet bei der Nitrierung der monoalkylierten Aniline zunächst immer Ersatz von Wasserstoffatomen des aromatischen Kerns, dann erst Ersatz des H der Amingruppe statt. Theoretisch betrachtet muß die Nitrierung der Amingruppe als primärer und die intramolekulare Wanderung der Nitrogruppe in den Kern (unter dem Einfluß der Säure, s. oben Phenylnitramin) als sekundärer Vorgang gelten. Hat der Kern die ihm unter den obwaltenden Bedingungen genügende Zahl von Nitrogruppen aufgenommen, so ist der nun noch entstehende Nitraminrest beständig.

Dimethylnitramin schmilzt bei 57 bis 58° und siedet bei 187°, Methyläthylnitramin siedet bei 190°, Diäthylnitramin bei 206°, Methylphenylnitramin (α-Diazobenzolsäuremethylester) schmilzt bei 39°. Nitropiperidin oder Pentamethylennitramin kann als Dialkylnitramin angesehen werden, dessen Alkyle zu einem Ring verknüpft sind; es schmilzt bei —6 bis —5° und siedet bei 245°.

Bei der Reduktion mit Zinkstaub und Essigsäure entstehen Dialkylhydrazine RR_1-$N.NH_2$. Alkali zersetzt die Nitramine, die zweierlei aliphatische gesättigte Reste tragen, in Nitrit, das Amin des schwereren und den Aldehyd des leichteren Alkyls:

$$\begin{array}{l}CH_3 \diagdown \\ C_2H_5 \diagup\end{array} N.NO_2 + KOH = KNO_2 + \begin{array}{l}CH_2 \diagdown\!\!\diagdown \\ C_2H_5 \diagup\end{array} N + H_2O$$

$$\begin{array}{l}CH_2 \diagdown\!\!\diagdown \\ C_2H_5 \diagup\end{array} N + H_2O = CH_2O + H_2N.C_2H_5$$

Dabei wird der Aldehyd zum Teil in den zugehörigen Alkohol und die zugehörige Säure verwandelt. Die bei den aliphatischen Monoalkylnitraminen genannten Farbreaktionen mit aromatischen Basen treten auch bei den aliphatischen Dialkylverbindungen ein. Methylphenylnitramin lagert sich unter der Wirkung von Schwefelsäure in o- und p-Nitromethylanilin $O_2N.C_6H_4.NH.CH_3$ um. Kochendes Phenol und auch andere nitrierbare Substanzen substituieren in manchen aromatischen, auch im Benzolkern nitrierten, Nitraminen NO_2 durch H (extramolekulare Wanderung des NO_2). Trägt man gewisse Nitramine dieser Art in kalte konzentrierte Schwefelsäure ein, so erhält man unter anderem die entsprechenden Nitrosamine; darum geben diese Substanzen auch die Liebermannsche Reaktion (vgl. den Artikel „Nitrosoverbindungen"). Mit Kalilauge gibt Methylphenylnitramin in der Hitze Methylanilin $C_6H_5.NH.CH_3$, bei der Reduktion Methylphenylnitrosamin $C_6H_5(CH_3)N.NO$, as-Methylphenylhydrazin $C_6H_5(CH_3)N.NH_2$ und Methylanilin.

Die Dialkylisonitramine, die übrigens nicht zu verwechseln sind mit den ebenfalls in zwei Reihen existierenden Alkylderivaten der bei den Monoalkylnitraminen genannten Isonitramine (s. oben), sind unbeständiger. Dimethylisonitramin siedet schon bei 112°, Methyläthylisonitramin unter 20 mm Quecksilberdruck bei 37°. Methylphenylisonitramin (β-Diazobenzolsäuremethylester) ist ein heliotropartig riechendes Oel. Mit 40prozentiger Schwefelsäure, welche die Dialkylnitramine bei gewöhnlicher Temperatur unverändert läßt, zerfallen diese Isoverbindungen in Stickoxydul und Alkohole oder Aethylenkohlenwasserstoffe. Von heißer Kalilauge werden sie in Stickstoff, Alkohol und Aldehyde gespalten.

γ) Von anderen organischen Nitraminen, welche an Stelle der Alkyle sauerstoff- und stickstoffhaltige Reste haben, sind zu nennen: das sirupförmige Nitraminoäthanol $O_2N.NH.CH_2.CH_2OH$, die Nitraminessigsäure $O_2N.NH.CH_2.COOH$ vom Schmelzpunkt 103° samt ihrem Amid (134°) und Aethylester (24°); die nur als Kaliumsalz $O_2N.NK.COOK$ beständige Nitrocarbaminsäure (siehe Nitramid) mit ihrem Aethylester, dem Nitrourethan $O_2N.NH.COOC_2H_5$ (entsteht durch Nitrierung von Urethan, bildet Tafeln, schmilzt bei 64°, zersetzt sich bei 140° und gibt Salze und Ester, z. B. $O_2N.N(CH_3)COOC_2H_5$); der Nitroharnstoff $O_2N.NH.CO.NH_2$ (schmilzt und zersetzt sich erst bei hoher Temperatur und bildet neutral reagierende Alkalisalze) mit dem um 130° schmelzenden Nitroäthylharnstoff $O_2N.NH.CO.NH.C_2H_5$ und dem Nitroureoäthanol (86°) $HO.CH_2.CH_2.N(NO_2)CO.NH_2$; das als Ausgangs-

Digitized by Google

material für eine Reihe von Guanidin- und Harnstoffderivaten wichtige Nitroguanidin (230°) $O_2N.NH.C(:NH)NH_2$; das in der Sprengstoffindustrie verwendete Nitrodicyandiamidin $O_2N.NH.CO.NH.C(:NH).NH_2$; das Nitrobiuret (165°) $O_2N.NH.CO.NH.CO.NH_2$; das Nitrohydantoin

(170°) $OC\begin{matrix}\diagup N(NO_2)CH_2 \\ \qquad\qquad | \\ \diagdown NH \quad CO\end{matrix}$, welches beim Kochen mit Wasser Kohlensäure abspaltet und das Amid der Nitraminessigsäure gibt; schließlich noch die Dinitrodialkyloxamide $R(NO_2)$-$N.CO.CO.N(NO_2)R_1$, die beim Eintragen in konzentriertes Ammoniak in Oxamid und die Ammoniakverbindung der Monoalkylnitramine (s. oben) zerlegt werden. Einige sonst noch dargestellte Nitramine sind von geringerer Wichtigkeit.

3b) Nitrimine $RR_1.C:N.NO_2$ sind nur in ein paar Vertretern bekannt. Sie entstehen bei der Einwirkung von Stickstoffdioxyd oder salpetriger Säure auf die Oxime solcher Ketone, in denen eins der Kohlenstoffatome neben der Ketogruppe tertiär oder quaternär ist oder an einer Aethylenbindung teilnimmt (während andere Ketoxime bei dieser Behandlung in Pseudonitrole übergehen, siehe unten). Es handelt sich um die Ketone Pinakolin, Mesityloxyd, Menthon, Tanaceton, Campher, Fenchon, Camphenon und Santonin. Auch die Nitrimine bilden Salze und nehmen dabei eine tautomere hydroxylartige Form an, sie gehen in „Nitriminsäuren"

$$>C:\dot{C}.N:N\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{matrix} \quad (\text{oder } >C:\dot{C}.N\overset{O}{\diagup\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!\diagdown}N.OH)$$

über. Von jeder der beiden Formen leiten sich Ester ab; im Falle des eigentlichen Nitrimins wandert bei der Esterbildung die Doppelbindung in den organischen Rest:

$>C:\dot{C}.NR.NO_2$	$>C:\dot{C}.N:N\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow OR\end{matrix}$
N-Verbindungen aus den Alkalisalzen, geben bei der Spaltung Alkylamine.	O-Verbindungen, Nitriminsäureester aus den Silbersalzen.

Findet sich aber an keinem der beiden Kohlenstoffatome, die mit dem die Nitrimingruppe tragenden C verbunden sind, ein Wasserstoffatom, so erscheint die Umlagerung eines solchen Nitrimins in eine Nitriminsäure und auch die Esterbildung ausgeschlossen und tatsächlich vermag das Fenchonnitrimin (Pernitrosofenchon), das seiner Struktur nach ein Beispiel für diesen Fall bietet, kein Kaliumsalz zu bilden. Beim Camphernitrimin (Pernitrosocampher, Camphenylnitramin) sind die beiden desmotropen Formen, das stabile Nitrimin (Pseudosäure) und die labile Nitriminsäure isoliert worden. Die Nitrimine sind sehr reaktionsfähig. Bei der Behandlung mit Semicarbazid wird der Nitriminrest verdrängt und das Semicarbazon des zugrunde liegenden Ketons gebildet. Fenchon- und Camphernitrimin erleiden durch konzentrierte Schwefelsäure eine interessante Umlagerung zu demselben monocyklischen sogenannten Isocampher $C_{10}H_{16}O$. Mesitylnitrimin $(CH_3)_2C:CH.C(:N.NO_2)CH_3$ wird durch gewisse Reaktionen in Derivate verschiedener stickstoffhaltiger Ringe überführt.

4. Organische Nitroverbindungen, deren Nitrogruppe an Kohlenstoff gebunden ist. Sie bilden die wichtigste Gruppe, und man findet vielfach die Definition der Nitroverbindungen auf sie beschränkt.

Von nur theoretischem Interesse ist es, daß als Verwandte der Nitrokörper einige Phosphino- und Arsinoverbindungen $R.PO_2$ und $R.AsO_2$ aus den Phosphin- und Arsinsäuren $R.PO(OH)_2$ und $R.AsO(OH)_2$ dargestellt werden konnten. Sie unterscheiden sich wesentlich darin von den Nitrokörpern, daß sie sich mit Wasser zu den Phosphin- oder Arsinsäuren vereinigen. Auch das Jodobenzol $C_6H_5.JO_2$ sei hier genannt (vgl. den Artikel „Organische Verbindungen der Metalle und Nichtmetalle").

4a) Nitrokohlenwasserstoffe. Man erblickte bis vor nicht langer Zeit eine spezifische Verschiedenheit der aliphatischen und der aromatischen Kohlenwasserstoffe in ihrem Verhalten gegen Salpetersäure. Die Verschiedenheit ist aber nach den Untersuchungen Konowalows nur graduell; auch in den aliphatischen Kohlenwasserstoffen, den Paraffinen, und in den hydriertcyklischen, den Naphtenen (einschließlich Menthan, Camphan usw.) können Wasserstoffatome direkt durch die Nitrogruppe ersetzt werden (Nitrierung)

$$R.H + HO.NO_2 = R.NO_2 + H_2O,$$

wenn man die Substanzen mit verdünnter Salpetersäure (Dichte 1,075) im zugeschmolzenen Rohr, also unter starkem Druck, auf 130 bis 140° erhitzt. Dabei treten Nitrogruppen in erster Linie an tertiäre, in zweiter Linie an sekundäre Kohlenstoffatome:

$$\begin{matrix}C \diagdown \\ C - C{-}NO_2, \\ C \diagup\end{matrix} \quad \begin{matrix}C \diagdown \quad \diagup H \\ C \\ C \diagup \quad \diagdown NO_2\end{matrix} \quad \text{und} \quad \begin{matrix}C \diagdown \quad \diagup NO_2 \\ C \\ C \diagup \quad \diagdown NO_2\end{matrix}.$$

Erhitzt man normale Paraffine mit Salpetersäure unter bloßem Atmosphärendruck, so entstehen auch primäre Nitrokörper $R.CH_2.NO_2$ neben größeren Mengen von Dinitroparaffinen $R.CH(NO_2)_2$ und ein- und zweibasischen aliphatischen Carbonsäuren.

Beim Nitrieren in offenen Gefäßen wirkt auf n-Hexan erst rauchende, auf die höheren Homologen (z. B. Dodekan $C_{12}H_{26}$) schon verdünnte Salpetersäure, und es ist bemerkenswert, daß dabei auch Kohlenwasserstoffe mit Isopropyl-

Digitized by Google

gruppen, je stärker die Säure ist, um so mehr primäre und sekundäre, um so weniger tertiäre Nitroverbindungen geben. Unter den isomeren Kohlenwasserstoffen werden aber immerhin die normalen und solche mit quaternärem Kohlenstoffatom, in denen also der Salpetersäure kein tertiäres H geboten wird, so schwer angegriffen, daß man sie auf diese Weise von den übrigen Isomeren befreien kann.

Eine Mischung von konzentrierter Salpetersäure mit konzentrierter Schwefelsäure (1 : 2 Volumen), in der Markownikow eine sogenannte Nitroschwefelsäure $HO.SO_2.ONO_2$ annimmt, wirkt auf aliphatische Kohlenwasserstoffe, jedenfalls in den meisten Fällen, bei gewöhnlicher Temperatur nicht ein, während konzentrierte Salpetersäure dann oft schon lebhaft Stickoxyde entwickelt. Umgekehrt ist in der aromatischen Reihe die Salpeterschwefelsäure das energischere Nitriermittel. Die Schwefelsäure bindet das bei der Nitrierung entstehende Wasser (siehe die letzte Gleichung), verhindert also eine fortschreitende Verdünnung der Salpetersäure. Mittelschwer nitrierbare aromatische Substanzen werden — meist unter Kühlung — mit konzentrierter oder rauchender Salpetersäure allein behandelt, leicht nitrierbare in Verdünnung mit Eisessig oder Wasser. Der Unterschied in den Nitrierbedingungen für die aliphatischen und für die aromatischen Körper zeigt sich sehr deutlich an aromatischen Kohlenwasserstoffen mit aliphatischen Seitenketten; beim Auflösen in konzentrierter Salpetersäure werden sie im Kern, beim Erhitzen unter Druck mit verdünnter Salpetersäure aber in der Seitenkette nitriert; in diesem Falle begibt sich die Nitrogruppe immer an das C der Seitenkette, das unmittelbar an den Kern gebunden ist. Die Einführung einer Nitrogruppe in den Kern gelingt leichter, wenn Seitenketten vorhanden sind; z. B. sind Toluol und Xylol leichter nitrierbar als Benzol. Der Eintritt einer Nitrogruppe erfolgt vorzugsweise in o- oder p-Stellung zu einem Alkylrest und in m-Stellung zu einer schon vorhandenen Nitrogruppe (vgl. die betreffenden Regeln im Artikel „Substitution"). Die erste Nitrierung führte Mitscherlich 1834 am Benzol aus. Heutzutage wird sie im größten Maßstabe auf die Bestandteile des Steinkohlenteers angewendet, da Nitrophenole schon selbst Farbstoffe sind und im übrigen die Nitrokörper den Uebergang vermitteln zu den Anilinen und sonstigen Materialien der Farbstoffindustrie.

Für einige Zwecke empfiehlt sich statt der freien Salpetersäure Benzoylnitrat als Nitriermittel. In Gegenwart von Quecksilber entstehen bei der Einwirkung von Salpetersäure und von Stickoxyden auf aromatische Kohlenwasserstoffe Nitrophenole (auch Chinolin, Anthrachinon usw. liefern hierbei Nitrooxyderivate). Beim Ueberleiten der mit Luft gemischten Dämpfe von Benzolkohlenwasserstoffen über die aus Stickoxyden und schwach basischen Metalloxyden, insbesondere Zink- oder Kupferoxyd, gebildeten Verbindungen in der Hitze entstehen ebenfalls Nitrokörper.

Eine andere Bildungsweise der Nitrokohlenwasserstoffe, die für die aromatische Reihe zwar von so gut wie gar keiner, für die aliphatische aber von um so größerer Bedeutung ist und zur Entdeckung der Nitroparaffine durch V. Meyer 1872 geführt hat, ist die Umsetzung von Alkyljodiden mit Silbernitrit:

$$R.J + AgNO_2 = R.NO_2 + AgJ.$$

Beim Methyljodid verläuft sie fast ausschließlich in diesem Sinne. In den höheren Reihen entstehen aber nebenher die isomeren Alkylnitrite R.ONO. Das Mengenverhältnis des Nitrokörpers zum Nitrit liegt am günstigsten bei den primären, am ungünstigsten bei den tertiären Verbindungen; die sekundären halten die Mitte. Durch Destillation kann man den höher siedenden Nitrokörper vom Nitrit (Nitroäthan 113 bis 114°, Aethylnitrit 17°) trennen.

Warum gerade Silbernitrit (und Mercuronitrit) Nitrokörper liefert, während die Alkalinitrite mit Alkyljodiden nicht in dieser Weise reagieren, ist eine offene Frage. Man hat indessen bei der Einwirkung von Alkylsulfaten auf die Nitrite der Alkalien und alkalischen Erden neben den Alkylnitriten auch Nitroparaffine erhalten.

Im gleichen Jahre wie V. Meyer stellte auch H. Kolbe Nitroparaffine dar, und zwar durch Umsetzung von α-Halogenfettsäuren mit Natriumnitrit. Als primäre Produkte können hier α-Nitrofettsäuren gelten:

$$R.CHHal.COOH + NaNO_2 = R.CH(NO_2)COOH + NaHal$$

$$R.CH(NO_2)COOH = R.CH_2.NO_2 + CO_2.$$

Schließlich besteht noch die Möglichkeit, Nitrokohlenwasserstoffe durch Oxydation von Aminen, Hydroxylaminen, Oximen und Nitrokohlenwasserstoffen mit Sulfomonopersäure, Natriumsuperoxyd u. dgl. zu gewinnen. In der aromatischen Reihe erhält man so aus Chinondioxim das p-Dinitrobenzol. Statt Anilin zu Nitrobenzol zu oxydieren, kann man es auch in Diazobenzol verwandeln und nun mit Hilfe von salpetriger Säure und Kupferoxydul die Diazo- durch die Nitrogruppe verdrängen. Ungesättigte Nitrokohlenwasserstoffe wie Nitrophellandren, Nitroinden u. dgl. entstehen durch Abspaltung von untersalpetriger Säure aus Pseudonitrositen (s. den Artikel „Nitrosoverbindungen". Aus Chlor- und Bromnitroparaffinen kann man durch Einwirkung von Zinkalkylen die höheren Homologen dieser Nitroparaffine darstellen.

Die einfachen Mono-Nitrokohlenwasserstoffe sind farblos, den Derivaten der Kohlenwasserstoffe mit kondensierten Benzolringen ist gelbe Farbe eigen. Sie lösen sich kaum in Wasser, leicht in organischen Lösungsmitteln,

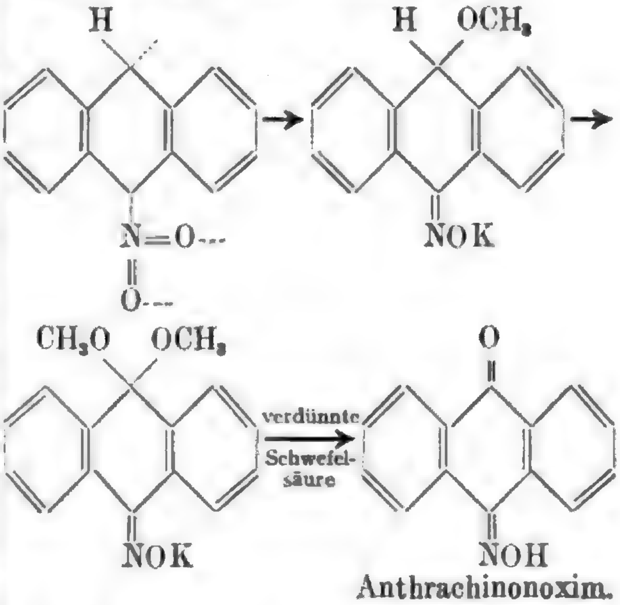
Digitized by Google

destillieren unzersetzt, verflüchtigen sich leicht und besitzen süßlichen Geruch. Die niederen Glieder der aliphatischen und die Vertreter der aromatischen Reihe sind schwerer als Wasser, die höheren Glieder der aliphatischen Reihe, Nitrobutan eingerechnet, leichter. Bei gewöhnlicher Temperatur sind die meisten Nitroparaffine sowie Nitrobenzol und ein paar seiner Homologen flüssig, die übrigen aromatischen Nitrokörper fest. Siedepunkt, Dichte und Brechungsindex der Nitroverbindungen sind höher, dagegen spezifisches und molekulares Brechungs- und Zerstreuungsvermögen niedriger als bei den isomeren Nitriten. Nitromethan $CH_3.NO_2$ siedet bei 101°, Nitroäthan $CH_3.CH_2.NO_2$ bei 113 bis 114°, primäres Nitropropan $CH_3.CH_2.CH_2.NO_2$ bei 125 bis 127°, sekundäres Nitropropan $(CH_3)_2CH.NO_2$ bei 117 bis 119°. Auch einige Nitroolefine sind bekannt (s. unten: Reaktion der Nitrokohlenwasserstoffe mit Aldehyden). Nitrobenzol erinnert in seinem Geruch sehr an Benzaldehyd und wird als „künstliches Bittermandelöl" oder „Mirbanöl" in der Parfümerie verwendet. Es ist giftig. Sein Schmelzpunkt liegt bei +5,5°, sein Siedepunkt bei 208°. o-Nitrotoluol schmilzt als α-Modifikation bei —10,56°, als β-Modifikation bei —4,14° und siedet bei 218°, m-Nitrotolnol bei +16° bezw. 230°, p-Nitrotoluol bei 51° bezw. 234°. α-Nitronaphtalin, durch direkte Nitrierung zu erhalten, bildet lange, feine, gelbe Nadeln, schmilzt bei 61° und siedet bei 304°, β-Nitronaphtalin, auf dem Umwege über 2-Nitro-1-naphtylamin dargestellt, kristallisiert in kleinen, in ganz reinem Zustande farblosen, gewöhnlich gelben Nadeln, schmilzt bei 79° und riecht zimtartig. Phenylnitromethan $C_6H_5.CH_2.NO_2$ ist flüssig und siedet unter 35 mm Quecksilberdruck bei 142°. Das zugehörige aci-Phenylnitromethan $C_6H_5.CH:NOOH$, das zuerst entdeckte Beispiel einer desmotropen Form eines Nitrokörpers, ist kristallinisch, schmilzt bei 84° und geht sehr bald wieder in die ölige Form über. Es zersetzt sich beim Aufbewahren und bildet Dibenzhydroxamsäure.

Nitrocyklohexan $C_6H_{11}.NO_2$, sekundäres und tertiäres Nitromenthan $C_{10}H_{19}.NO_2$ sind flüssig. Nitrocamphan $C_{10}H_{17}.NO_2$, das bei der Reduktion von Bromnitrocamphan (aus Campheroxim mit Kaliumhypobromit) entsteht und die Nitrogruppe an dem C trägt, das im Campher den Sauerstoff bindet, ist eine campherartige Masse, die bei 147 bis 148° schmilzt und die Polarisationsebene des Lichtes nach rechts dreht. Die desmotrope Form $C_{10}H_{16}:NOOH$ schmilzt bei 74° und dreht nach links. Ein durch direkte Nitrierung des Camphans entstehendes, ebenfalls sekundäres Nitrocamphan schmilzt bei 125 bis 129°.

Betreffs des chemischen Verhaltens der Nitrokohlenwasserstoffe sind den allgemeinen Angaben über die Umlagerung und Umwandlung der Nitrogruppe nur noch einige spezielle anzufügen. Die Natriumsalze stellt man in fester Form dar, indem man zur alkoholischen oder ätherischen Lösung der Nitroverbindung alkoholische Natronlauge gibt. Beim Erhitzen verpuffen sie heftig. Nitromethannatrium ist mit 1 Molekül Alkohol verbunden; im Vakuum von Alkohol befreit, explodiert es schon in Berührung mit einer Spur Wasser. Nitromethan wird von Natronlauge in gelinder Wärme in Methazonsäure (β-Nitroacetaldoxim) $O_2N.CH_2.CH:NOH$, von siedender Kalilauge in Nitroessigsäure $O_2N.CH_2.COOH$ verwandelt. Nitroäthan gibt mit alkoholischen Alkalien in der Hitze Trimethylisoxazol

Ueber die Wirkung starker Alkalien auf andere primäre Nitroparaffine siehe Nitrolsäuren. Von wässerigen Alkalien werden die höheren Nitroparaffine nur noch schwierig gelöst. Rein aromatische Mononitrokohlenwasserstoffe vermögen als tertiäre Verbindungen keine Salze zu bilden. Von festem Aetzkali werden sie in Nitrophenolsalze und Azoxybenzole, bei Gegenwart von Anilin in Phenazine verwandelt. Nitroanthracen erfährt durch methylalkoholisches Kali folgende interessante Umwandlung:



Anthrachinonoxim.

Die Unlöslichkeit tertiärer Nitroparaffine in Alkalien dient zu ihrer Scheidung von ihren primären und sekundären Verwandten. Diese werden nachher aus der alkalischen wässerigen Lösung durch Bor- oder Kohlensäure in Freiheit gesetzt. Auch die Fällung ihrer in Alkohol schwer löslichen Salze kann zur Abscheidung der primären und sekundären Nitroparaffine dienen.

Die Reaktion von Phenylnitromethannatrium mit Benzoylchlorid führt zu Dibenzhydroxamsäure — ein Vorgang, dessen Be-

deutung für die Strukturfrage (s. oben: Desmotropie) schon erwähnt wurde:

$$C_6H_5CH:NOONa + Cl.OCC_6H_5 = NaCl + C_6H_5CH:NO.O.OCC_6H_5 \longrightarrow C_6H_5CO.NH.O.OCC_6H_5.$$

Die Produkte der Reduktion sind verschieden nach den angewandten Mitteln. Als Endprodukt tritt das Amin auf (Zinin 1842):

$$R.NO_2 + 3H_2 = R.NH_2 + 2H_2O$$

und nur bei gewaltsamen Reduktionen wird auch dieses noch in Kohlenwasserstoff und Ammoniak zerlegt. Leicht erhält man das Amin bei Verwendung von Eisen und Salz- oder Essigsäure. Der Weg führt über die Nitrosoverbindung R.NO (oder auch die Dihydroxylaminverbindung $R.N(OH)_2$) und das Alkylhydroxylamin R.NH.OH. Man kann dieses neben dem Amin und Ammoniak isolieren, wenn man mit Zinnchlorür und Salzsäure reduziert, und fast ausschließlich gewinnen, wenn man auf den Nitrokörper vorsichtig in der Kälte Zinkstaub und Wasser oder auf seine alkoholische Lösung Schwefelammonium einwirken läßt. Primäre und sekundäre Nitroparaffine geben, wenn man zu ihrer Reduktion starke Säuren verwendet, neben dem Amin mehr oder minder beträchtliche Mengen Aldehyd oder Keton; es hat dann teilweise hydrolytische Spaltung des intermediären Oxims stattgefunden:

$$R.CH_2.NO_2 \rightarrow R.CH_2.NO \rightarrow \underset{\text{Aldoxim}}{R.CH:NOH} \rightarrow \underset{\text{Aldehyd.}}{R.CHO} + H_2NOH.$$

Von hervorragender theoretischer und praktischer Bedeutung sind die Vorgänge bei der Reduktion des Nitrobenzols. Sie wird im großen in gußeisernen Zylindern mittels Eisenfeile und Salzsäure ausgeführt. Die augenfällige Tatsache, daß zur Vollendung der Reduktion nur $^1/_{40}$ der zur Auflösung des Eisens erforderlichen Salzsäure gebraucht wird, erklärt sich damit, daß Nitrobenzol schon durch Eisenfeile und Wasser bei Gegenwart von Eisenchlorür in Anilin übergeführt wird. Die elektrische Reduktion läuft in schwach saurer (alkoholischer) Lösung wie die Reduktion mit chemischen Mitteln über das Nitrosobenzol und Phenylhydroxylamin, die man durch geeignete Mittel nachzuweisen vermag, zum Anilin:

$$C_6H_5.NO_2 \rightarrow C_6H_5.NO \rightarrow C_6H_5.NHOH \rightarrow C_6H_5.NH_2.$$

In stark saurer Lösung aber wird das intermediäre Phenylhydroxylamin umgelagert in p-Aminophenol $HO.C_6H_4.NH_2$. In alkalischer Lösung verbinden sich Nitrosobenzol und Phenylhydroxylamin zu Azoxybenzol:

$$C_6H_5NO + C_6H_5NHOH = C_6H_5N\overset{O}{\frown}NC_6H_5 + H_2O,$$

das nun seinerseits im wesentlichen zu Hydrazobenzol reduziert wird. Hydrazobenzol aber wird von noch vorhandenem Nitrobenzol oxydiert und es entstehen Azobenzol und Azoxybenzol:

$$3C_6H_5NHNHC_6H_5 + 2C_6H_5NO_2 = 3C_6H_5N:NC_6H_5 + C_6H_5N\overset{O}{\frown}NC_6H_5 + 3H_2O.$$

Daneben oxydiert auch die Luft Hydrazobenzol zu Azobenzol, so daß dieses in erheblicher Menge auftritt. Durch erhöhte Kathodenspannung werden auch Azo- und Hydrazobenzol zu Anilin reduziert. Das Nitrobenzol wird in gewissen Fällen (Rosanilin, Chinolin) als Oxydationsmittel verwendet.

Einige Reaktionen sind noch zu nennen, bei denen die Nitrogruppe intakt bleibt und ein Austausch von Wasserstoffatomen stattfindet, die an demselben Kohlenstoffatom wie die Nitrogruppe haften — Reaktionen also, die nur primäre und sekundäre Nitroparaffine betreffen. Sie kommen in Form ihrer Alkalisalze oder ihrer aci-Formen (Alkalisalz + Säure) zur Anwendung; die echten Nitrokörper sind indifferent. Dahin gehört zunächst die Einwirkung der salpetrigen Säure. Sie ist Gegenstand des Abschnitts 4c. Versetzt man eine alkoholische Lösung von Nitroparaffin mit 2 Molekülen Natriumäthylat und leitet Stickoxyd ein, so tritt an Stelle des Wasserstoffatoms der Isonitramin- (Nitrosohydroxylamin-) Rest; man erhält Salze von Nitroisonitraminen $R.CH(N_2O_2H)NO_2$. Im Nitromethan können alle drei, in den übrigen primären Nitrokörpern die beiden und in den sekundären kann das eine Wasserstoffatom neben der Nitrogruppe durch Brom ersetzt werden. Die Fähigkeit zur Salzbildung ist dann noch vorhanden, wenn eins der reaktionsfähigen Wasserstoffatome übrig geblieben ist, ist aber für die Verbindungen RBr_2NO_2, $R.CBr_2NO_2$ und $R.CBr(NO_2).R_1$ verloren gegangen. Erhitzt man die letzteren Verbindungen, so entstehen Ketone. Nitroparaffine vereinigen sich mit Aldehyden. Dabei tritt im Falle des Formaldehyds die Methylolgruppe CH_2OH, im Falle des Acetaldehyds die Aethylolgruppe $CH_2OH.CH_3$ usw. an die Stelle des Wasserstoffatoms und man erhält Nitroalkohole und Nitroglykole wie $CH_3.CH(CH_2OH)NO_2$ und $CH_3.C(CH_2OH)_2NO_2$. Aus Nitromethan und Formaldehyd entsteht ein Nitrobutylglycerin $O_2N.C(CH_2OH)_3$. Aromatische Aldehyde reagieren unter der Wirkung von Kondensationsmitteln ebenso, spalten aber meist gleich

Digitized by Google

Wasser ab und liefern phenylierte Nitroolefine, z. B.

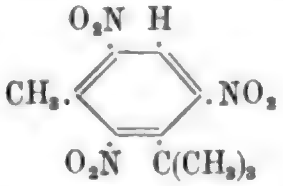
$$C_6H_5.CHO + H_2CH.NO_2 \xrightarrow[\text{Kali}]{\text{alkoholisches}}$$
Benzaldehyd
$$H_2O + C_6H_5CH:CHNO_2$$
ω-Nitrostyrol.

Auch aus den aliphatischen Nitroalkoholen kann man Wasser abspalten. Reduziert man die Verbindungen $R.CH:CHNO_2$, so entstehen unter Verschiebung der Doppelbindung Oxime $R.CH_2.CH:NOH$, die durch Säuren in Aldehyde gespalten werden. Man hat in dieser Reaktionsfolge ein Mittel zum Aufbau der Aldehyde.

4b) Di- und Polynitrokohlenwasserstoffe. Erwärmung oder Verstärkung des Nitriermittels hat den Eintritt weiterer Nitrogruppen in das Molekül zur Folge. In den Benzolring können auf direktem Wege nur 3 Nitrogruppen eingeführt werden. In der aliphatischen Reihe kann man noch Dinitroparaffine, welche die Nitrogruppen an demselben C-Atom tragen, darstellen durch Oxydation von Pseudonitrolen (s. unten), durch Einwirkung von Kaliumnitrit auf Bromnitroparaffine, von Silbernitrit auf Dihalogenkohlenwasserstoffe und durch Spaltung von Ketonen, Carbonsäuren und dergleichen mit konzentrierter Salpetersäure. Phenyldinitromethan und seine im Phenylrest substituierten Abkömmlinge erhält man aus Benzaldoxim $C_6H_5CH:NOH$ bezw. seinen Verwandten durch Einwirkung von 2 Molekülen Untersalpetersäure N_2O_4.

Die Anlagerung von Untersalpetersäure an Aethylenbindungen in gewissen Substanzen (Benzalphtalid, Zimtsäure, Benzalacetophenon u. dgl.) gibt die mit Dinitrokörpern isomeren unbeständigen Nitronitrite, sogenannte Dinitrüre mit der Gruppe —C——C—.
ONO NO₂

Die Verbindungen mit mehreren Nitrogruppen kristallisieren meist gut. Die Dinitrokörper mit beiden Nitrogruppen am gleichen C sind so beständig, daß sie unzersetzt destilliert werden können. Dinitromethan $CH_2(NO_2)_2$ ist ein farbloses Oel. Dinitroäthan $CH_3CH(NO_2)_2$ siedet bei 185 bis 186°, 1.1-Dinitropropan $CH_3CH_2.CH(NO_2)_2$ bei 189°, 2.2-Dinitropropan $CH_3.C(NO_2)_2CH_3$ bei 185,5° und schmilzt bei 53°. Das ölige 1.3-Dinitropropan $O_2N.CH_2.CH_2.CH_2.NO_2$, aus Trimethylenjodid mit Silbernitrit erhalten, ist unbeständig. Beständig dagegen sind die höheren diprimären Dinitroparaffine $O_2N.CH_2(CH_2)_nCH_2.NO_2$, die neben Dinitrit- und Nitronitritverbindungen aus Dihalogenkohlenwasserstoffen entstehen. Die rein aromatischen Dinitrokörper sind infolge ihrer Schwerflüchtigkeit mit Wasserdampf leicht von den Mononitrokörpern zu trennen. Beim Erhitzen verpuffen sie, sind also in der Regel nicht destillierbar. m-Dinitrobenzol, das als Nebenprodukt bei der Nitrierung des Benzols entsteht und große technische Bedeutung hat, bildet farblose Kristalle. o-, m-, p-Dinitrobenzol schmelzen bei 117, 90 und 172° und sieden bei 319°, 302° und 299°. 1.2.4-Dinitrotoluol, das Nebenprodukt der Nitrierung von Toluol, schmilzt bei 70°, Phenyldinitromethan $C_6H_5CH(NO_2)_2$ bei 79°. Trinitromethan oder Nitroform $CH(NO_2)_3$, das man aus Trinitroacetonitril mit Wasser in Form seines Ammoniumsalzes oder aus Tetranitromethan mit alkoholischem Kali neben Aethylnitrat oder aus Acetylen mit Salpetersäure erhält, bildet farblose Kristalle, schmilzt bei 15°, ist flüchtig, explodiert heftig beim Erhitzen und löst sich in wasserfreien Mitteln ohne, in Wasser mit gelber Farbe (aci-Form). Trinitroäthan $CH_3.CH(NO_2)_3$ aus Trinitromethansilber und Jodmethyl oder Methylmalonsäure und Salpetersäure schmilzt bei 56° und löst sich nicht in Wasser. Tetranitromethan oder Nitrokohlenstoff $C(NO_2)_4$, aus Salpeter-Essigsäure (Diacetylorthosalpetersäure) mit Essigsäureanhydrid oder durch Nitrierung von Nitroform mit rauchender Salpetersäure und Schwefelsäure in der Wärme zu erhalten, ist farblos, schmilzt bei +13°, siedet bei 126°, ist also nicht explosiv, hat bei 13° das spezifische Geswicht 1,65, löst sich leicht in Alkohol und Aether, nicht in Wasser. Das unsymmetrische 1.2.4-Trinitrobenzol schmilzt bei 57,2°, das symmetrische 1.3.5-Isomere bei 122°. Trinitrotertiärbutyltoluol



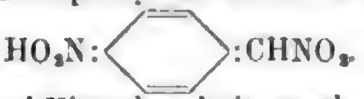
von Schmelzpunkte 96 bis 97° wird wegen seines intensiven Moschusgeruches fabrikmäßig hergestellt.

In ihrem chemischen Verhalten weisen die Di- und Polynitrokörper einige Merkwürdigkeiten auf. Die Dinitroparaffine $R.CH(NO_2)_2$, starke Säuren, bilden gut kristallisierte farbige Salze $R.C(NO_2)_2Me$, die in zwei verschiedenen Reihen, einer gelben und einer roten, auftreten. Diese isomeren Salze gehen leicht ineinander über; ihre wässerigen Lösungen sind identisch. Die Isomerie kann man unter Annahme von Bindung eines Sauerstoffatoms der einen Nitrogruppe an das Stickstoffatom der in ihrer aci-Form befindlichen anderen („chinoide" Vierringe von CNON, vgl. Superoxydformel des Chinons im Artikel „Chi-

Digitized by Google

none") erklären. Von einem einfachen Nitroacinitroparaffin $R.C(NO_2):NOOH$ ist keine Farbe zu erwarten; von ihm müßten sich farblose Salze ableiten, für deren Existenz man nur Anzeichen hat. p-Nitrophenylnitromethan $O_2N.C_6H_4.CH_2.NO_2$ bildet sogar vier verschiedenfarbige Salze: gelbe, rote, grüne und violette. Hier ist es nicht wie bei den symmetrischen Dinitroparaffinen einerlei, welche der beiden Nitrogruppen die aci-Form angenommen hat:

Nitrophenyl-aci-nitromethan



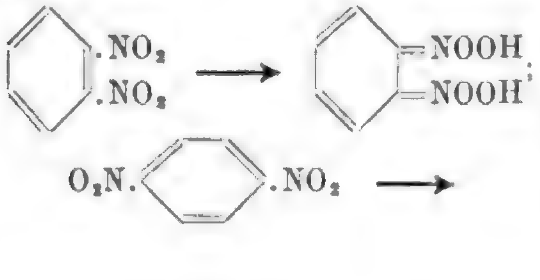
aci-Nitrophenyl-nitromethan.

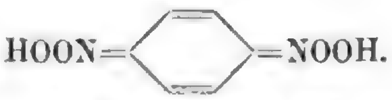
Tetranitrodiphenylmethan bildet mit Alkalien dunkelblaue Salze. Die Salze des Nitroforms sind gelb; Nitroformkalium explodiert bei 97 bis 99°; die gelben Nadeln des Nitroformammoniums verpuffen bei 200°; das Silbersalz löst sich leicht sowohl in Wasser wie in Aether; das Quecksilbersalz $[(NO_2)_3C.]_2Hg$ löst sich in nichtdissoziierenden Lösungsmitteln farblos, in dissoziierenden gelb als $[(NO_2)_2C:NOO]_2Hg$.

Trinitroäthan reagiert mit Kaliumäthylat oder Kaliumcyanid unter Abspaltung einer Nitrogruppe in folgender Weise:

$$CH_3.C(NO_2)_3 + 2\,KOC_2H_5\ (KCN) = CH_3.C(OC_2H_5)(CN).NO_2 \ldots N{\lesssim}^{O}_{OK} + KNO_2 + HOC_2H_5\ (HCN).$$

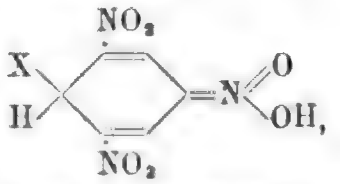
Bei der Reduktion mit Zinn und Salzsäure liefern die Dinitroparaffine, welche die beiden NO_2 an verschiedenen C tragen, normalerweise Diamine; dagegen diejenigen, in denen ein C beide NO_2 trägt, unter Abspaltung von Hydroxylamin Monocarbonsäuren (aus primär entstehenden Aldehyden) oder Ketone, je nachdem es sich um ein primäres oder sekundäres C handelt. Die Reduktion der Dinitrobenzole in saurer Lösung geht zu Nitroanilinen, erst weiterhin zu Diaminen. Bei vorsichtiger Reduktion des o- und p-Dinitrobenzols in alkalischer Lösung erhält man blauviolett oder braunrot gefärbte Lösungen von chinonartigen diaci-Dihydrodinitrobenzolen:





Sind die Nitrogruppen zueinander in o- oder p-Stellung, so wird beim Kochen mit Natronlauge 1 NO_2 gegen OH ausgetauscht. Ebenso vermag Ammoniak NO_2 durch NH_3 zu ersetzen.

Aromatische Dinitrokörper geben mit vielen Aldehyden und Ketonen unter Mitwirkung von Alkali Farbreaktionen, die zum Nachweis der Körperklassen dienen können. Einige Dinitro-, mehr aber noch Trinitrobenzolkohlenwasserstoffe vereinigen sich (ganz wie Trinitrophenol) mit aromatischen Kohlenwasserstoffen (Benzol, Naphtalin, Anthracen usw.), mit Phenolen, Phenoläthern und auch, wenn nicht wie in den unsymmetrischen Trinitrobenzolderivaten Austausch einer Nigruppe gegen den Basenrest eintritt, mit Hydrazin, Phenylhydrazin, Anilinbasen, Azobenzol usw. zu losen farbigen Verbindungen. Da sich solche Farbreaktionen einerseits am Trinitromesitylen $C_6(CH_3)_3(NO_2)_3$, andererseits am Tetranitromethan und am Chlorpikrin CCl_3NO_2 beobachten lassen, so werden sie weder durch ein reaktionsfähiges Wasserstoffatom noch durch den aromatischen Rest, sondern allein durch die Nitrogruppe bedingt. Außer den aromatischen geben auch ungesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe mit dem farblosen Tetranitromethan goldgelbe Lösungen. Darum sind nach A. Werner die Additionsprodukte aus Nitrokörpern und Kohlenwasserstoffen (ähnlich den Chinhydronen) Molekülverbindungen, deren Bildung auf der Absättigung von Nebenvalenzen zwischen Nitrogruppe und ungesättigten Kohlenstoffatomen beruht; auch die Verknüpfung mit dem Aminrest geschieht durch Nebenvalenzen: $R.NO_2 \ldots N{<}^{R}_{R}{}_{R}$. Die tiefroten und violetten Salze, welche durch Anlagerung von Natriumhydroxyd, -alkoholat und Kaliumcyanid an Trinitrobenzol und seine Verwandten entstehen, leiten sich von „Chinolnitrosäuren" ab:



worin X = OH, OR oder CN ist (vgl. die Umsetzung von Nitroanthracen mit Kaliummethylat im vorigen Kapitel). Wahrscheinlich ist aber auch hier wie bei den Dinitroparaffinsalzen eine zweite Nitrogruppe an der Salzbildung mitbeteiligt. Nitrogruppen machen die Wasserstoffatome des Benzolrings leichter oxydierbar (1.3.5-Trini-

Digitized by Google

trobenzol wird schon von Kaliumferricyanid zu Pikrinsäure oxydiert), auch Chloratome leichter austauschbar und befähigen in gewissen Fällen benachbarte Methylgruppen zur Kondensation mit Aldehyden usw.

4c) **Nitrolsäuren und Pseudonitrole.** Sie sind die Produkte der Nitrosierung von primären oder sekundären Mononitroparaffinen (V. Meyer):

$$R.CH_2NO_2 + NOOH = R.C\begin{matrix}\diagup NOH \\ \diagdown NO_2\end{matrix} + H_2O$$

$$\begin{matrix}R \diagdown \\ R_1 \diagup\end{matrix} CHNO_2 + NOOH = \begin{matrix}R \diagdown \\ R_1 \diagup\end{matrix} C \begin{matrix}\diagup NO \\ \diagdown NO_2\end{matrix} + H_2O.$$

Die Nitrolsäuren (α-Nitroaldoxime) sind als Tautomere der labilen Nitronitrosokörper $R.CH\begin{matrix}\diagup NO \\ \diagdown NO_2\end{matrix}$ anzusehen. Die Pseudonitrole sind echte Nitronitrosokörper, da in ihnen kein Wasserstoffatom zur Umlagerung zur Verfügung steht. Tertiäre Nitroparaffine reagieren mit salpetriger Säure nicht. Man führt die Nitrosierung aus, indem man die Lösung des Nitrokörpers in Kalilauge mit Nitritlösung und dann vorsichtig mit Schwefelsäure versetzt. Die Bildung einer Nitrolsäure verrät sich durch eine blutrote Färbung, die wieder verschwindet, sobald die Flüssigkeit sauer ist; die Bildung eines Pseudonitrols durch vorübergehende intensive Blaufärbung und darauf folgende Abscheidung einer festen weißen Substanz. Im ersten Falle tritt auf Zugabe von Alkali die blutrote Färbung wieder auf; sie ist den Alkalisalzen der Nitrolsäuren eigen. Im zweiten Falle wird die Verbindung von Chloroform beim Durchschütteln zu einer blauen Lösung aufgenommen.

Wenn man bei der Einwirkung starker Alkalien auf primäre Nitroparaffine Nitrolsäuren begegnet, so liegt das daran, daß die zu ihrer Entstehung notwendige salpetrige Säure durch Zersetzung eines Teiles des Nitroparaffins gebildet wurde. Aethylnitrolsäure entsteht auch durch Umsetzung von Dibromnitroäthan mit Hydroxylamin:

$$\begin{matrix}CH_3 \diagdown \\ NO_2 \diagup\end{matrix} C \begin{matrix}\diagup Br \\ \diagdown Br\end{matrix} + \begin{matrix}H \diagdown \\ H \diagup\end{matrix} NOH = \begin{matrix}CH_3 \diagdown \\ NO_2 \diagup\end{matrix} C{=}NOH + 2HBr.$$

Fernere Beweise dafür, daß die Isonitrosogruppe :NOH in den Nitrolsäuren vorhanden ist, hat man in den Reaktionen, die eine Nitrogruppe in ein Oxim einzuführen gestatten. So kann man Acethydroximsäurechlorid mit Silbernitrit umsetzen:

$$CH_3.C\begin{matrix}\diagup NOH \\ \diagdown Cl\end{matrix} + AgNO_2 = AgCl + CH_3.C\begin{matrix}\diagup NOH \\ \diagdown NO_2\end{matrix},$$

ferner Isonitrosoketone, die aus salpetriger Säure und Ketonen mit der Gruppe $CO.CH_2$ entstehen, mit Salpetersäure:

$$\begin{matrix}CH_3.C:NOH \\ \cdot \\ CH_3.CO\end{matrix} + \begin{matrix}NO_2 \\ \cdot \\ OH\end{matrix} = \begin{matrix}CH_3.C:NOH \\ \cdot \\ NO_2\end{matrix} + \begin{matrix}CH_3.CO \\ \cdot \\ OH\end{matrix}$$

und in ähnlicher Weise α-Isonitrosofettsäuren mit Stickstoffdioxyd spalten.

Die Nitrolsäuren kristallisieren meist ausgezeichnet, sind farblos, lösen sich leicht in Wasser, auch in Alkohol und Aether und schmecken süß. Sie sind ihrer Leitfähigkeit nach nur schwache Säuren. Methylnitrolsäure $CH(NOH)NO_2$ schmilzt bei 64°, zersetzt sich bei 68°, Aethylnitrolsäure (α-Nitroacetaldoxim) bei 86 bis 88°, Propylnitrolsäure bei 66°, Benznitrolsäure $C_6H_5C(NOH)NO_2$ bei 57 bis 58°.

Sie lösen sich in Alkalien mit blutroter Farbe zu wenig beständigen, sehr explosiven, gut kristallisierenden „erythronitrolsauren" Salzen $R.CN_2O_3Me$, die auf Säurezusatz die Nitrolsäuren zurückbilden, aber wegen ihrer Farbigkeit nicht die einfache Nitrolsäure-Struktur besitzen können (Vierring von CNON?). Beim Erwärmen und im Sonnenlicht gehen sie in die farblosen „leuko" oder „isonitrolsauren" Salze über, die nun weder in Nitrolsäure noch in die roten Isomeren zurückverwandelt werden können. Neben diesen gibt es noch gelbe saure Salze. Erhitzt man das farblose äthylisonitrolsaure Kalium auf etwa 120°, so zerfällt es in Methylisocyanat und Kaliumnitrit:

$$CH_3.CN_2O_3K \rightarrow CH_3.N:CO + NO_2K.$$

Beim Erhitzen für sich oder mit Wasser, auch bei der Reduktion, geben die Nitrolsäuren die Fettsäuren mit dem gleichen Kohlenstoffgehalt. Halogenwasserstoff ersetzt NO_2 durch Cl und bildet ein Hydroximsäurechlorid (s. oben). Die Methylnitrolsäure zerfällt beim Erhitzen in schwach saurer Lösung in salpetrige Säure und Knallsäure (diese weiterhin in Ameisensäure und Hydroxylamin), hinterläßt beim Eindampfen mit Wasser, zweckmäßiger mit Ammoniak, nach Gasentwickelung Harnstoff und bildet, in wässeriger Lösung unter starker Kühlung mit Soda versetzt, einen äußerst reaktionsfähigen und explosiven Körper, das Trifulmin, das Polymere von dem noch nicht bekannten Formonitriloxyd

$$HC:N:O \text{ (oder } HC\overset{O}{\frown}N).$$

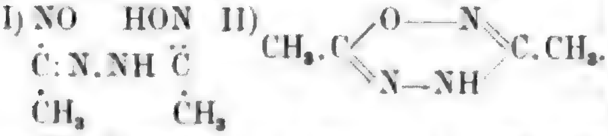
Benzonitrolsäure zersetzt sich leicht zu Benzonitriloxyd

$$C_6H_5C:N:O \text{ (oder } C_6H_5.C\overset{O}{\frown}N),$$

das sich leicht unter Zusammentritt zweier Moleküle polymerisiert. Mit Soda behandelt, bildet sie ein dem Trifulmin entsprechendes

trimeres Benzonitriloxyd, das in seinen Reaktionen dem Trifulmin gleicht.

In kleiner Menge entstehen bei der Reduktion der Nitrolsäuren mit Natriumamalgam die sogenannten Azaurolsäuren, schön kristallisierte goldgelbe Substanzen, in Alkalien mit intensiv orangeroter Farbe löslich, die sich als Nitrosohydrazone erwiesen haben. Aethylazaurolsäure hat die Formel I. Von siedendem Wasser wird es unter Abspaltung von Stickoxyd und Wasser in das Leukazon II verwandelt:



Die Pseudonitrole entstehen neben der erwähnten Darstellungsmethode noch aus Ketoximen mit Stickstoffdioxyd in ätherischer Lösung bei Lichtabschluß sowie — was für die Beurteilung ihrer Struktur wichtig ist — bei Wechselwirkung zwischen Silbernitrit und Bromnitrosoparaffinen, die Br und NO am gleichen C tragen:

$$\begin{matrix} R \\ R_1 \end{matrix} > C < \begin{matrix} NO \\ Br \end{matrix} + AgNO_2 = AgBr + \begin{matrix} R \\ R_1 \end{matrix} > C < \begin{matrix} NO \\ NO_2 \end{matrix} .$$

Den Nitrosokohlenwasserstoffen gleichen sie darin, daß sie im festen (dimolekularen) Zustande farblos, im geschmolzenen oder gelösten (monomolekularen) Zustande dagegen tief blau sind. Sie reagieren neutral, sind in Wasser, Alkalien und Säuren unlöslich, in Alkohol, Aether, Chloroform löslich. Ihre Dämpfe reizen die Augen zu Tränen, sie riechen intensiv ähnlich den Nitrosobenzolen. Propylpseudonitrol zersetzt sich bei 76°, Butylpseudonitrol schmilzt bei 58°.

In Eisessig gelöst, werden die Pseudonitrole von Chromsäure zu Dinitroverbindungen oxydiert. Die Reduktion ergibt Oxime und Ketone.

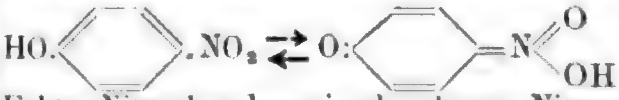
Den markanten Unterschied im Verhalten der primären, sekundären und tertiären Nitrokörper kann man (in den niederen Reihen) zur Diagnose der entsprechenden Alkoholradikale verwerten, indem man das Jodid mit Silbernitrit destilliert, das Destillat mit Kalilauge schüttelt, mit Nitrit und hierauf mit Schwefelsäure versetzt.

Wie die Pseudonitrole enthalten die Pseudonitrosite die Nitro- und die Nitrosogruppe im Molekül vereinigt, jedoch an zwei benachbarten Kohlenstoffatomen (vgl. den Artikel „Nitrosoverbindungen").

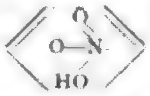
4d) Nitroderivate anderer Körperklassen. Die neutrale Nitrogruppe modifiziert zwar die Eigenschaften der Stammkörper, ändert sie aber meist nicht wesentlich. Sie macht Carbonsäuren und Phenole stärker sauer, Anilin und andere Basen schwächer basisch. Es erscheint darum nicht angebracht, Verbindungen, die eine Nitrogruppe enthalten, ihren chemischen Charakter aber anderen Gruppen verdanken, als Nitrokörper zu registrieren und den Nitrokohlenwasserstoffen anzureihen. Die gewaltige Zahl dieser Nitrokörper würde dem auch im Wege stehen. Ihre Bildungsweisen sind, soweit die Einführung oder Schaffung einer Nitrogruppe in Frage kommt, im großen ganzen von den Bildungsweisen der Nitrokohlenwasserstoffe nicht verschieden.

Einen ganz wesentlichen Einfluß übt die Nitrogruppe aber dann auf ein Molekül aus, wenn sie Gelegenheit hat die aci-Form anzunehmen. Diese Gelegenheit liegt bei primären und sekundären Nitrokörpern immer vor, nicht aber bei den tertiären. Im Kapitel „Desmotropie" wurde erwähnt, daß die Nitrophenole und Nitroaniline unter den tertiären Verbindungen eine Sonderstellung einnehmen. Diese Verbindungen vermögen nämlich ebenfalls die aci-Struktur anzunehmen dank dem leichten Uebergang vom Benzol- zum Chinontypus (vgl. den Artikel „Chinone").

Das Wasserstoffatom des Phenolhydroxyls wandert dabei an die Nitrogruppe, wie es am Beispiel des p-Nitrophenols folgende Formeln ausdrücken:



Echtes Nitrophenol, farblos — aci- oder chromo-Nitrophenol, gelb.

Das hier analog der Diketonformel des Chinons formulierte aci-Nitrophenol mag auch die der Superoxydformel des Chinons entsprechende Struktur  besitzen.

Von den freien Nitrophenolen hat man zwar keine zweite (desmotrope) Form isolieren können. Da aber manche von ihnen wie p-Nitrophenol, 2.4-Dinitrophenol, 2.4.6-Trinitrophenol im festen Zustande farblos, andere wie o-Nitrophenol gelb sind, so können nach Hantzsch diese farbigen Verbindungen als feste Lösungen von wenig aci-Nitrophenol in farblosem echtem Nitrophenol gelten (mero-chromo-Nitrophenol) — nicht als die aci-Formen selber, weil diese nach ihren Derivaten zu urteilen viel intensivere Farbe besitzen müßten. Die experimentelle Grundlage für diese Betrachtungen war geschaffen worden, als Hantzsch und Gorke im Jahre 1906 durch Einwirkung von Halogenalkylen auf die Silbersalze der Nitrophenole neben den schon bekannten farblosen Nitrophenoläthern intensiv farbige Isomere erhielten, deren Eigenschaften mit der Annahme einer chinoiden Struktur im Einklang waren:

Digitized by Google

o-Nitrophenolmethyläther
echte Form oder aci-Form,
Nitroanisol, farblos. rot, labil.

Farblose Salze der Nitrophenole, die man als echte Phenolate anzusprechen hätte, hat man nicht darstellen können, wohl deshalb nicht, weil die durch das Alkali geschaffene aci-Form eine so starke Säure ist, daß das Phenol nicht mit ihr in Wettbewerb treten kann. [Oxybenzaldehyde und Oxybenzophenone liefern sowohl farblose echte Phenolate $MeO.C_6H_4.CO.R$ wie farbige chinoide Alkoholate (chromo-Salze) $O:C_6H_4:C(OMe)R$]. Die frühere Ansicht, daß wie andere Körper auch Nitrophenole bei der Salzbildung allein dadurch Farbe erlangten, daß sie in den Ionenzustand übergingen, während sie durch Zurückdrängung der Ionisation wieder farblos würden (z. B. Pikrinsäure), ist nicht mehr haltbar; das Ion eines farblosen Körpers ist ebenfalls farblos; die Farbe der Nitrophenole ist durch eine Aenderung der Bindungsverhältnisse im Molekül bedingt.

In vielen Fällen existiert von einem farbigen chinoiden Nitrophenolsalz eine gelbe und eine rote Form, von denen hier die eine, dort die andere die beständige ist und die sich auch, namentlich in der m-Reihe, als orangefarbene Mischsalze abscheiden können. Am Kaliumsalz des Tribrom-m-dinitrophenols lassen sich diese Erscheinungen am besten verfolgen. Wie sie durch Formeln zu deuten sind, mag dahingestellt bleiben, möglicherweise handelt es sich um cis- trans-Isomerie. Als auffällige Tatsache ist hervorzuheben, daß auch m-Nitrophenol allerdings keinen farbigen Aether, wohl aber farbige Salze gibt — insofern auffällig, als Körper mit metachinoider Struktur sonst überhaupt nicht existenzfähig zu sein scheinen. Weitere Angaben über Nitrophenole siehe im Artikel „Phenole". Die als Granatenfüllung und Farbstoff wichtige Pikrinsäure, von Gerhardt zuerst als Trinitrophenol gedeutet, wurde schon im Jahre 1799 von Welter durch Kochen von Seide mit Salpetersäure rein gewonnen und ist somit der älteste organische Nitrokörper.

Nimmt man an, daß in den Nitranilinen die Nitrogruppe mit dem an einem anderen C-Atom des Benzolringes haftenden Aminrest direkt verbunden ist, sei es unter Verschiebung der benzoiden Struktur in die chinoide (vgl. Formel der Chinonimine im Artikel „Chinone") durch Hauptvalenzen, sei es durch Nebenvalenzen, so erscheinen sie als innere Salze, die zu den Nitrophenolsalzen in naher Beziehung stehen. Wie diese können sie in gelben, orangen und dunkelroten Formen auftreten. Auch ein und dasselbe Nitranilin kann bisweilen in derart verschiedenfarbigen Modifikationen (Chromoisomerie), außerdem aber auch nach Hantzsch in gleichfarbigen optisch identischen Modifikationen von verschiedenen Schmelzpunkten (Homochromisomerie) existieren. Alle diese Isomeren sind chemisch bisher nicht zu unterscheiden und meist sehr leicht ineinander überzuführen. Wie die Isomerien durch Formelbilder wiederzugeben sind, ist ein noch ungelöstes Problem.

Literatur. *Chemisches Zentralblatt. Berlin. Referate der Originalarbeiten.* — **F. Beilstein,** *Handbuch der organischen Chemie. 3. Aufl. Hamburg 1893 bis 1906.* — **A. F. Holleman,** *Lehrbuch der organischen Chemie. 9. Aufl. Leipzig 1911.* — **V. Meyer und P. Jacobson,** *Lehrbuch der organischen Chemie. 2. Aufl. Leipzig 1907.* — **V. v. Richter, Anschütz, Schroeter,** *Organische Chemie. 11. Aufl. Bonn 1909.* — **J. v. Braun,** *Stickstoff und Verbindungen. Artikel in Abeggs Handbuch der anorganischen Chemie. III. Bd., 3. Abt. Leipzig 1907.* — **L. Spiegel,** *Der Stickstoff und seine wichtigsten Verbindungen. Braunschweig 1903.* — **J. Houben,** *Nitrogruppe. Artikel in dem Handbuch „Die Methoden der organischen Chemie". Herausgeg. v. Th. Weyl. Leipzig 1911.* — **F. Henrich,** *Neuere theoretische Anschauungen auf dem Gebiete der organischen Chemie. Braunschweig 1908.*

H. Wienhaus.

Niveauverschiebungen.

1. Definition, Benennung. 2. Binnenländische Verschiebungen. 3. Kennzeichen litoraler Verschiebungen. 4. Typen von litoralen Verschiebungen. 5. Uebersicht der Verbreitung. 6. Theorien.

1. Definition und Benennung. Niveauverschiebungen sind langsame oder plötzliche Verschiebungen einer Erdstelle in der Senkrechten. Sie sind nur schwer und auf Grund genauer Messungen im Inneren des Landes wahrnehmbar, drängen sich dagegen an den Küsten auch dem wenig geschulten Beobachter auf, da hier der horizontale Meeresspiegel stets zu Vergleichen zur Verfügung steht. Nachrichten über sichere binnenländische Niveauverschiebungen liegen erst in geringer Zahl vor (s. 2).

Bei binnenländischen Verschiebungen macht es keine Schwierigkeit die Richtung der Bewegung festzustellen, dagegen bieten Vorgänge an den Küsten stets Anlaß zu Zweifeln, ob im einzelnen Fall der Meeresspiegel oder das Land sich verschoben haben. Somit ist es unbedingt nötig, den Beschreibungen zunächst neutrale Ausdrücke zugrunde zu legen, die noch nichts von Erklärung geben. Es liegen eine große Menge von Vorschlägen dazu vor, von denen aber keiner voll befriedigt oder allgemein durch-

Digitized by Google

gedrungen wäre. Die so nahe liegende Benennung „Landgewinn" und „Landverlust" genügt deshalb nicht, weil ein Gewinn oder Verlust von Land auch durch die normale Tätigkeit des Meeres, der Flüsse usw. hervorgebracht werden kann, ohne daß eine Verschiebung in der Senkrechten mit im Spiele wäre. Kaum irgendwo eingebürgert haben sich ältere Bezeichnungen von Supan („kontinental" = Landhebung, „marin" = Landsenkung) und von Pawlow („geokratische", hydrokratische" Bewegungen). Allgemeiner werden dagegen die von Sueß 1888 geprägten Ausdrücke „positive" und „negative" Verschiebung angewandt. Sueß geht vom Meeresspiegel aus, ein Ansteigen desselben ist ihm (auf dem Erdradius der betreffenden Stelle) eine positive Bewegung, ein Sinken negativ. Diesen Bezeichnungen mangelt indessen nicht nur die Anschaulichkeit — weshalb Günther und Ratzel sie auch im umgekehrten Sinn gebrauchten —, sie sind vor allem auch aus theoretischen Ueberlegungen über den Gesamtzustand der erkaltenden Erde hervorgegangen, Ueberlegungen, die sich in der Folge als nicht immer zutreffend erwiesen haben.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen wird es sich empfehlen, immer von der Bewegung des Landes auszugehen, die auch in sich mehrenden Fällen als wirklich vorhanden erkannt wird. Also „Hebung" oder „Senkung" des Landes, wobei der Nachweis einer Bewegung des Festen durch Einzeluntersuchung zu erbringen ist.

2. Binnenländische Niveauverschiebungen. Verschiebungen im Innern des Festlandes mit Sicherheit festzustellen ist bisher erst in wenigen Fällen gelungen. Die Kennzeichen und Methoden, solche zu ermitteln, sind entweder so grob, daß Täuschungen unterlaufen können, oder so fein, daß ihre Anwendung zu kostspielig und zeitraubend wird. Vor allem aber vollziehen sich die Bewegungen — von erdbebenreichen Gebieten abgesehen — so langsam, daß sie innerhalb eines Menschenlebens kaum bemerkbar sind.

Die grobe Methode ist die Feststellung von Veränderungen der Aussichtsweite. Eine solche wird sehr oft beobachtet, aber den Angaben darüber ist mit der größten Vorsicht zu nahen. Kirchtürme und ähnliche hervorragende Bauten sind die gewöhnlichen Objekte solcher Beobachtung. Die Fehlerquellen liegen in Veränderungen an den Bauten — sowohl denen, die betrachtet werden, als denen, in welchen der Beobachter sich aufhält — in Nichtbeachtung der Vegetation und vor allem der kriechenden Bodenbewegungen.

Auf genauem Wege lassen sich Verschiebungen in der Vertikalen dann natürlich durch Präzisionsmessungen (Nivellements) nachweisen, für die nur die erwähnten Uebelstände bestehen.

Als Beispiele rascher durch Nivellements nachgewiesener Verschiebungen sei hier nur auf die Veränderungen hingewiesen, die das kalifornische Erdbeben 1906 erzeugt hat. Eine Fläche von 10 000 qkm wurde längs einer Spalte an deren Westseite nach NW, an der Ostseite nach SO verschoben, im Maximum um 7 m. Damit waren Hebungen bis zu einem Meter verbunden.

Binnenländische langsame Verschiebungen sind in großer Fülle aus Thüringen, den Alpen, dem Jura und auch Schweden bekannt geworden. Die ersteren sind auf Auslaugungen, die alpinen Fälle auf Fortgang der Gebirgsbewegung wahrscheinlich zurückzuführen. Das sehr eingehend untersuchte Vorkommen von der Innenküste von Bohuslän (Schweden) deutet darauf hin, daß bei der säkularen Hebung dieses ganzen Landes auch Verbiegungen vorkommen.

3. Kennzeichen litoraler Niveauverschiebungen. Je nach dem Sinn der Bewegung sind die Kennzeichen verschieden, die ihrerseits wieder in die 3 Gruppen morphologischer, geologischer und künstlicher Art zerfallen. Allgemein ist zu beachten, ob wirklich alle Kennzeichen einer Erdstelle vom Meer geschaffen sind oder nicht vielleicht von Seen, die durch Eis oder sonstwie aufgestaut wurden, wie es für viele skandinavische Vorkommen erwiesen ist, die hier unberücksichtigt bleiben.

3a) Kennzeichen einer Hebung des Landes. *α*) Morphologische Kennzeichen. Das vornehmste morphologische Kennzeichen einer größeren Landhebung ist das Auftauchen von Meeresboden über dem Meeresspiegel. Der Meeresboden in der Nähe der Küsten zeigt in den großen Zügen ein gleichförmigeres Aussehen als die Oberfläche des Landes es hat. Somit ist gehobenes Land wenigstens anfänglich von einem im Längsverlauf glatten Ufer gesäumt, dem geringe Unterschiede in der Vertikalen zur Seite stehen. Am inneren Rande der Küstenebene sind Reste der früheren Küste in Gestalt von alternden Kliffen, Strandwällen u. dgl. zu erwarten. Deren vorhandene oder fehlende Horizontalität weist zugleich darauf hin, ob die Verschiebung ganz vertikal vor sich ging oder eine Schrägstellung eingetreten ist, was der Außenküste nicht angesehen werden kann.

Im einzelnen ist scharf zu unterscheiden zwischen den verschiedenen Formen des der Hebung unterworfenen Landes. War dasselbe steil zum Meer geböscht, so ist unter Umständen die Küstenebene sehr schmal oder

Digitized by Google

kann ganz fehlen; dann sind nur in das Gestein eingekerbte Strandlinien zu beobachten. Ist die Böschung sehr flach, so werden große Flächen flachen Landes auftauchen, deren Relief sich nach dem Relief des Meeresbodens richtet.

Zur Rekonstruktion des früheren Meeresstandes dürfen nur solche Uferformen verwandt werden, die wirklich in der Nähe des Meeresspiegels selbst entstehen. Dahin gehört die Basis der Kliffe am Steilufer, die Kammhöhe der Strandwälle am Flachufer; keineswegs aber Dünenaufsätze auf solchen oder vom Kliff entfernte Teile einer Abrasionsplatte, da dieselben sich mit 1 bis 2° Steigung senken, was sich auf größere Entfernungen immerhin bemerkbar macht.

Ein sicheres Kennzeichen für Landhebung scheinen Deltas zu bieten, während Trichtermündungen oder Aestuare auf Senkung deuten würden. Beispiele wie das Weichsel- und Memeldelta einerseits, das Elbästuar, das Oderästuar andererseits an der sinkenden deutschen Küste weisen aber darauf hin, daß für das Auftreten von Deltas andere Ursachen als Niveauverschiebungen eine erhebliche Rolle spielen müssen. Es kommen in erster Linie wohl die Vorgänge im Inneren des Flußgebietes in Frage, binnenländische Niveauverschiebungen, Klimaänderungen u. a. Benutzt man Deltas zur Rekonstruktion früherer Wasserstände, so darf nicht — oder doch nur am seeseitigen Rand — die Oberkante, sondern nur die Basis der annähernd horizontalen Deckschichten über den stark geneigten Schüttschichten zur Feststellung der Höhenlage verwandt werden.

β) Geologische Kennzeichen. Gehobener Meeresboden enthält in der Regel Reste von Organismen, die auf oder in ihm lebten, als er vom Wasser bedeckt war. Ihr Vorkommen bietet oft den ersten Hinweis auf das Vorhandensein von Verschiebungen an einer Erdstelle, ist gelegentlich das einzige Kennzeichen (Bohrmuschellöcher) und ermöglicht über die morphologischen Charakteristika hinaus häufig die Datierung einer Verschiebung. Freilich gehört dazu eine sehr genaue Kenntnis der Lebensbedingungen der einzelnen Organismen und ihrer vertikalen Verteilung in den geologischen Horizonten, wie sie vielfach noch nicht vorhanden ist.

γ) Künstliche Kennzeichen. Bei den künstlichen Kennzeichen ist vornehmlich die Datierungsmöglichkeit zu beachten, die freilich immer nur einen sehr kurzen Zeitraum umfaßt. Es kann sich dabei um Bauten handeln, die für Hafenzwecke bestimmt, später trocken liegen oder um Marken, die mit bewußtem Zweck zur Feststellung von Verschiebungen angebracht wurden. Angesichts des kurzen Zeitraums, aus dem die Wissenschaft über Beobachtungen an Kennzeichen dieser Art verfügt, und der dadurch bedingten Geringfügigkeit der Größe der Verschiebungen ist bei Benutzung solcher Kennzeichen ganz besondere Vorsicht vonnöten. Künstliche Marken, die einwandfrei erscheinen könnten, sind es deshalb oft nicht, weil zufällige Schwankungen im Wasserstande sowohl ihre richtige Anbringung erschweren, als auch eine zuverlässige Ablesung oft unmöglich machen. Als ganz sicher bleiben nur langjährige Pegelbeobachtungen übrig.

3b) Kennzeichen einer Senkung des Landes. *α*) Morphologische Kennzeichen. Bei einer Landsenkung zeigt die sich verschiebende Strandlinie in ihrem Grundriß Landformen an. Je nach dem Zustand und der Form des Landes ist die Küstenform verschieden. Im allgemeinen ist jedoch reichere Gliederung als im Falle einer Landhebung zu beobachten. Die Formen der Riasküste, der Limanküste, der Föhrdenküste, Haffküste u. a. deuten auf Landsenkung, vielleicht auch die Fjordküste, doch pflegen in ihrem Fall Hebungserscheinungen niemals zu fehlen. Die Mannigfaltigkeit ist hier viel größer als bei gehobenen Küsten. Das ändert sich im Laufe der Entwickelung der Küste, sie wird allmählich glatter und kann auf Karten kleinen Maßstabes gehobenen Küsten sehr ähnlich sehen.

β) Geologische Kennzeichen. Als geologisches Kennzeichen für Senkungen ist das Vorkommen von Seichtwasserbildungen in größerer Tiefe und von Landablagerungen unter Wasser zu nennen. Vornehmlich pflanzliche Bildungen, Torfe, sind gute Hinweise. Allerdings muß beachtet werden, daß Torfe und Waldreste in sehr geringen Tiefen wohl fast immer durch Druck von oben in ihre Lage gelangt sind. Angesichts der leichten Zusammendrückbarkeit dieser lockeren pflanzlichen Ablagerungen vermag eine sich über sie hinwälzende Düne sie bereits unter den Meeresspiegel zu pressen, wenn ihre anfängliche Höhe nicht zu groß gewesen ist. In diese — nichts beweisende — Reihe von Erscheinungen gehören alle Baumstumpfe und Torfe, die am Strand von Flachlandsküsten ständig oder nur bei Niederwasser sichtbar sind.

γ) Künstliche Kennzeichen. Als künstliche Kennzeichen kommen vornehmlich Bauten in Frage; eigens hergestellte Marken entziehen sich bald der Beobachtung. Bei Bauten ist indes in jedem einzelnen Fall sorgfältig zu prüfen, ob es sich nicht um Anlagen oder Bauteile handelt, die ihrer Bestimmung nach von Anfang an unter dem Meeresspiegel lagen. Als solche kommen Hafenbauten und Fundamente in Betracht die schon oft zu Täuschungen Anlaß gegeben haben.

Digitized by Google

4. Typen von litoralen Verschiebungen.
4a) Plötzliche Verschiebungen. In den letzten Jahren sind vornehmlich zwei rasche Verschiebungen bekannt geworden, deren Ausmaß überraschend groß ist. In der Yakutat-Bay in Alaska und den anschließenden Fjorden hob sich das Land auf Strecken von 200 km Länge bei einem Erdbeben im Sommer 1899 bis zu einem Maximum von 15 m, während an anderen Stellen dieser Strecke eine geringe Senkung eintrat. Nach allem was bekannt ist, war die Verschiebung plötzlich.

Die zweite noch stärkere Hebung wurde 1910 in der Nähe des Vulkans Usu-san auf der japanischen Insel Yezo beobachtet. An dem kleinen Toyasee im Norden des Vulkans wurde eine Scholle von 2 km Länge und 500 m Breite so stark gehoben, das ihr höchster Teil von 55 m Höhe über dem See bis 210 m stieg. Später fand ein Einsinken um 36 m statt. Die Hebung hatte durchschnittlich 1,55 m an einem Tag betragen, ist aber wahrscheinlich in kürzerer Zeit sehr viel rascher erfolgt.

4b) Säkulare Verschiebungen. Es seien auch hier wieder zwei gut bekannte Beispiele aus der großen Fülle ausgewählt. Der Serapistempel von Pozzuoli ist ein stets umstrittenes Objekt bei Betrachtung von Niveauverschiebungen gewesen. R. T. Günther hat vor einigen Jahren zur Klärung der Frage den richtigen Weg eingeschlagen, ein größeres Gebiet längs der italienischen Küste untersucht. Es ergab sich daraus sofort, daß der Serapistempel keine isolierte Erscheinung darstellt, daß vielmehr die ganze Küste zwischen Paestum und Rom — also auch die nicht vulkanischen Strecken — zur Zeit der ersten griechischen Siedelungen (700 bis 600 v. Chr.) etwa 6 m über dem heutigen Niveau lag. Zur Römerzeit begann eine Senkung, die im Mittelalter das Land etwa 6 m niedriger liegen ließ, als es gegenwärtig liegt. Ende des 15. Jahrhunderts setzt erneute Hebung ein, die aber die römische Küste mit ihren Bauten und Hafenanlagen nicht zum Vorschein brachte und in der Gegenwart durch eine Senkung abgelöst ist. Das Gesamtmaß der Bewegungen beträgt also rund 12 m in 2500 Jahren; sie sind ruckweise vor sich gegangen. Gleichzeitig fand in dem der Senkung ebenfalls unterworfenen Tibergebiet ein Landgewinn in horizontaler Richtung von 9 m im Jahre statt, der sich durch die Fülle der Sinkstoffe der Flüsse erklärt — ein Hinweis wie vorsichtig alle Kriterien der Niveauverschiebungen zu behandeln sind.

In Japan und bei dem hier soeben behandelten Beispiel handelt es sich um stark vulkanische, erdbebenreiche Gebiete der Erde, denen man versucht sein könnte störungsfreie Zonen als nicht Niveauverschiebungen ausgesetzt gegenüberzustellen. Diese Anschauung zu widerlegen, genügt es auf die Bewegungen im Bereich der diluvialen Vereisung der Erde hinzuweisen. Skandinavien ist das klassische Land der Strandverschiebungen und hier ist jüngst auch die große Tat gelungen, eine einigermaßen verläßliche historische Chronologie der Bewegungen zu gewinnen.

Dieselben sind verschieden je nach dem man die Umgebung des Kattegat oder das innere Ostseebecken betrachtet. In Vendsyssel (und ähnlich in Bohuslän) lag das Land unmittelbar nach dem Verschwinden des Eises aus diesen Gegenden am Limfjord 20 m, bei Fredrikshavn 56 m unter dem Meeresspiegel. Darauf folgte eine Hebung bis etwa in das heutige Niveau und zur Litorinazeit eine erneute Senkung, im Norden bis zu 15 m, im Süden am Limfjord bis 6 m. Diese hier gefundenen Ergebnisse, die auch für Bohuslän stimmen, lassen sich nicht ohne weiteres auf die Bewegungen im inneren Ostseebecken übertragen, wie das in der älteren Literatur geschehen ist. Ein zusammenhängendes Yoldiameer bestand jedenfalls nicht, sondern wechselnde Eisstauseen, deren Wasserspiegellage von der Höhe des stauenden Eisrandes und den benutzten Ueberfließpässen an Höhe abhing. Die Standmarken dieser Eisstauseen können daher nicht ohne weiteres zur Untersuchung von Niveauverschiebungen verwandt werden. Verbindet man sie mit den Wasserstandszeichen der Kattegatgegend, so muß man beachten, daß die dann konstruierten Linien nur für die Zeitpunkte ungefähre Geltung haben, zu denen die Eisstauseen mit den benachbarten Meeren in Verbindung traten, einmal in der Senke der schwedischen Seen, dann nach dem Weißen Meer hin. Unter solchen Vorbehalten lagen die mittleren Teile des Bottnischen Meerbusens 275 m (im Maximum zwischen Hernösand und Oernsköldswick 284 m) tiefer als jetzt.

Diesem tiefsten Eintauchen folgen Hebungen in der sogenannten Ancyluszeit, die nach der Ansicht einzelner Forscher in den Strandgebieten von Skandinavien bis etwa 200 m das Land hinaufführen. Darauf ein erneutes Eintauchen der Randgebiete zur Litorinazeit. Im Inneren hat sich das Land zu dieser Zeit bis zu 80 m unter dem heutigen Meeresspiegel gehoben. Danach kommt das bis in die Gegenwart dauernde Ansteigen der schwedischen und finnischen (vielleicht deutschen?) Gestade, das teilweise über 1 cm im Jahre beträgt, so daß in der Beobachtungszeit (1750 bis 1884) die Marke Storebben bei Piteå sich um 1,40 m gehoben hat. Einzelheiten zeigt für die gleiche Station folgende Tabelle:

Digitized by Google

Zeit	Jahre	Gesamthebung cm	Jährlich cm
1750—1785	35	50	1,43
1785—1796	11	6	0,55
1796—1851	55	35,5?	0,65
1851—1869	18	30	1,67
1869—1884	15	20	1,34

Also wechselnde Beträge der Hebung, die eine ganz allgemeine Erscheinung sind.

In jüngster Zeit haben Untersuchungen von G. de Geer gelehrt, die Gesamtzeit für diese verschiedenen Verschiebungen der Größenordnung nach richtig einzuschätzen. Danach lag der Eisrand etwa 15 000 Jahre v. Chr. Geburt in Schonen, nach rund 12 000 Jahren hatte er sich bis zum 63. Grade nördlicher Breite etwa zurückgezogen. In diese Zeitspanne fällt die Ausbildung der Eisstauseen im inneren Ostseegebiet. Die ihnen folgende Hebung des Landes im Bottnischen Busen, die erneute Senkung und wieder Hebung in den Randgebieten fällt in die letzten 7000 Jahre der Erdgeschichte. Es ergibt das einen Durchschnittsbetrag der Hebung im Innern des Bottnischen Meerbusens um rund 50 cm im Jahre. Alle diese Zahlen sind unsicher im einzelnen, sicher aber treffen sie die Größenordnung und passen trefflich mit Ueberlegungen zusammen, die von anderen Forschungszweigen her ähnliche Zahlen lieferten.

Ungefähr das gleiche Bild wie die Bewegungen von Finnland und Skandinavien boten Untersuchungen in Nordamerika.

5. Uebersicht der Verbreitung der Niveauverschiebungen. Bei der Frage nach der Verbreitung der Hebungen und Senkungen tritt die große Schwierigkeit hervor, daß die Forschung über die Zeit der Bewegung in den meisten Fällen noch nichts auszusagen vermag. Deshalb sind alle Kartenübersichten des Gegenstandes vorläufig unbrauchbar, weil sie nicht auf eine bestimmte Zeit begrenzt sind. Angesichts einer geologischen Karte der Erde wird ja jedermann klar, daß Niveauverschiebungen immer vor sich gegangen sind, solange auf der Erde Land und Wasser geschieden sind. Die marinen pliozänen Ablagerungen erreichen im Mittelmeergebiet bei vertikaler Verschiebung schon mehrere hundert Meter Höhe. Es kann sich also hier nur darum handeln einige allgemeine Züge der Verbreitung jüngster Verschiebungen abzuleiten, um daraus den Sinn zu erkennen, in dem sich gegenwärtig die Bewegung vollzieht.

Zwei Tatsachen fallen vor allem in die Augen: große Landhebungen im Bereich der diluvialen Vereisung, andererseits ein allgemeines Hinübertreten des Meeres auf die Randgebiete der Kontinente. Die aus Skandinavien beschriebenen Hebungen kehren im ähnlichen Betrag von über 250 m in Nordamerika wieder, in Grönland und der Antarktis. Sämtliche Kontinente aber liegen randlich unter Wasser, die Schelfe (siehe den Artikel „Meer" S. 791) — bis etwa 200 m hinabreichend — haben ein Areal von 30 000 000 qkm und zeigen in ihrem ganzen Bereich Landformen und z. T. auch Seichtwasserablagerungen in tiefem Wasser. Von den Landformen sind die unterseeischen Flußrinnen die auffälligsten. Bei ihrer Untersuchung ist viel zu wenig auf die Genauigkeitsgrade der Seekarten geachtet worden und sehr viele Rinnen sind auf Grund ganz unzulänglichen Materials konstruiert. So seien nur einige sichere Beispiele nach den Seekarten beschrieben. Am Kongo liegt die 200 m-Linie etwa 60 km vom Land entfernt. In ihrem Zuge hat die Rinne bereits eine Tiefe 1480 m, das Gefäll beträgt 25‰; sie läßt sich dann noch weiter bis zu Tiefen von 2200 m verfolgen, die in einen Abhang von 1800 m Tiefe scharf eingesenkt sind. Die Entfernung vom Ufer beträgt rund 200 km.

An der nordamerikanischen Küste ist die Rinne des Hudson besonders gut ausgeprägt. Die 200 m-Linie liegt dort 180 km vom Land entfernt, unterhalb setzt ein sehr steiler Abfall ein. Im Zug dieser Isobathe hat die Rinne 860 m Tiefe. Im Längsverlauf ist sie sehr gleichmäßig bis auf 80 m etwa eingeschnitten, dann erfolgt rasche Vertiefung bis 370 m und wieder langsamere Zunahme, schließlich vor der Mündung Abnahme der Tiefe. Es sei dann noch der Indus erwähnt, vor dessen Mündung die 200 m-Linie 150 km entfernt ist; die Rinne hat schon vorher 550 m Tiefe erreicht, nach außen scheint eine Abnahme stattzufinden. Am Ganges macht sich die Rinne schon im Zuge der 1000 m-Linie, 175 km von der Küste bemerkbar. In der Richtung der 200 m-Isobathe sind Tiefen von über 1000 m, in der der 100 m-Linie solche von über 800 m nachgewiesen.

Bei der Erklärung dieser Formen ist an Flußerosion bis zu ihrer vollen Tiefe hinab ohne eine spätere Niveauverschiebung nicht zu denken, denn läßt man sich das Land bis zur jetzigen Mündung dieser Rinnen heben, so schrumpfen die Meere so stark zusammen, wie es niemals der Fall gewesen ist. Man kommt so zu der Hypothese einer randlichen Verbiegung der Kontinente, die aber auch nur dann zutrifft, wenn die gesamte Schelffläche um die Flußrinne tief liegt. Das ist aber in den meisten Fällen nicht so; es bleiben daher zur Erklärung der Rinnen nur Gezeitenströmungen und ein langsames Abwärtsfließen der lockeren litoralen Sedimente in ihnen übrig, das eine gewisse Erosionskraft besitzen mag. Jedenfalls sind die Tiefen der Rinne nicht in vollem Umfange zur

Digitized by Google

Berechnung von Niveauverschiebungen heranzuziehen. Damit entfällt die Notwendigkeit, für die Rinnen aktive Landbewegungen anzunehmen und somit steht der schon geäußerten Anschauung nichts im Wege, daß wir allgemein auf der Erde bei allen Kontinenten ein randliches Eintauchen bemerken, das ungezwungen nur durch eine wahre Transgression des Meeres zu erklären ist. Die zu derselben erforderlichen Wassermassen stammen von den Schmelzwassern der diluvialen Eiskappen her. Ob diese Transgression gegenwärtig beendet ist, wissen wir nicht, weil es noch unbekannt ist, ob das Eis von Grönland und der Antarktis in dauerndem Rückgang oder Stillstand begriffen ist. Für annähernden Stillstand der Hebung des Meeresspiegels seit längerer Zeit sprechen die langen erosiven Cañons, die sich unterhalb der Wasserfälle der großen Ströme der Erde (Niagara, Sambesi u. a.) bereits gebildet haben. Auf einen geringen Fortgang des Ansteigens des Meeres deutet das überwiegende Vorwalten buchtenreicher Küsten auf der Erde, die aus ertrunkenen Tallandschaften hervorgegangen sind. Es ist außerdem zu beachten, daß die meisten glatten Küsten seitlicher Anschwemmung ihre Entstehung verdanken, somit in vielen Fällen in Wahrheit zu den gebuchteten Küsten gehören.

6. Theorien. An Erklärungsversuchen für die Niveauverschiebungen ist kein Mangel (vgl. Günther). Sie leiden alle an nicht genügend scharfer Kritik der Beobachtungen hinsichtlich der Zeit der Bewegung, können daher nicht befriedigen, zumal sich fast immer theoretische Ueberlegungen über den Zustand des Erdinnern hineinmischen. Es sei daher hier nur zusammenfassend betont, daß Schwankungen des Meeresspiegels sich stets auf großen Strecken der Erde gleichmäßig bemerkbar machen müssen, während die Erscheinungen der Verschiebungen des Landes sich in einer Richtung summieren, in der entgegengesetzten abnehmen.

Bei einer Ueberschau über die Erde unter Beachtung dieser Gesichtspunkte ergibt sich dreierlei, nämlich daß erstens an aktiven Bewegungen des Landes nicht zu zweifeln ist, daß zweitens diese Bewegungen an benachbarten Orten ungleichmäßig sein können, daß drittens daneben allgemeine Schwankungen des Meeresspiegels vorkommen. Der erste und dritte Punkt dieser Ergebnisse stehen in ursächlichem Zusammenhang und sind als eine Folgeerscheinung des klimatischen Ereignisses der diluvialen Eiszeit zu betrachten. Worauf die Unterschiede in den Bewegungen nahe beieinander gelegener Strecken zurückzuführen sind, ist noch ganz ungewiß, vermutlich spielt die geologische Struktur der betreffenden Erdstellen eine Rolle.

Literatur. *Zu 1.* **Ed. Suess,** *Das Antlitz der Erde, II. Wien 1888.* — **S. Günther,** *Handbuch der Geophysik, 2. Aufl., II. Stuttgart 1899.* — **A. Supan,** *Grundzüge der Physischen Erdkunde, 5. Aufl. Leipzig 1911.* — *Zu 2.* **P. Kahle,** *Zur Untersuchung von Mitteilungen über Verschiebungen in der Aussicht. Pet. Mitt. 1899, 218.* — *The California earthquake of april 18, 1906. Report of the state earthquake commission. Washington 1908.* — *Berichte von* **P. Kahle, F. Pfeiffer** *und* **Gehrke,** *in Mitt. Geogr. Ges. Jena V. 1887, VI. 1888;* **L. A. Girardot, A. Romieux,** *in Bull. Géogr. hist descr. 1890;* **J. Jegerlehner,** *in XIII. Jahresber. Geogr. Ges. Bern 1894;* **R. Kjellén,** *in Ymer. 1903.* — *Zu 3.* **E. Suess,** *s. oben.* — **G. Braun,** *Entwickelungsgeschichtliche Studien an europäischen Flachlandsküsten und ihren Dünen. Ver. Inst. f. Meereskde. 15. Berlin 1911.* — **R. Credner,** *Die Deltas. Pet. Mitt., Erg. H. 56. Gotha 1878.* — **G. K. Gilbert,** *Lake Bonneville. U. S. Geol. Survey Monogr., I. Washington 1890.* — *Zu 4.* **R. S. Tarr and L. Martin,** *Recent changes of level in the Yakutat Bay Region, Alaska. Bull. Geol Soc., Am. XVII, 1906, 29.* — **F. Omori,** *The Usu-San eruption and earthquake and elevation phenomena. Bull. Imper. Earthqu.-Invest.-Comm. V. 1. 1911.* — **R. T. Günther,** *Contributions to the study of earth-movements in the Bay of Naples. Oxford 1903.* — **L. Holmström,** *Om strandliniens förskjutning å Sveriges kuster. Kongl. Svenska Vetenskaps-Akad. Handl. XXII, 9, 1888.* — **R. Sieger,** *Seenschwankungen und Strandverschiebungen in Skandinavien. Zeitschr. Ges. f. Erdkde. Berlin XXVIII, 1893, 1.* — **G. de Geer,** *Om Skandinaviens Geografiska Utveckling efter Istiden. Stockholm 1896.* — **W. C. Brögger,** *Om de senglaciale og postglaciale Nivåforandringer i Kristianiafeltet. Kristiania 1900/01 und Strandliniens beliggenhed under stenalderen i det sydöstlige Norge. Kristiania 1905.* — *Beskriv. til geol. Kart over Danmark.* **A. Jessen,** *Kortbl. Skagen, Hirshals, Fredrikshavn, Hjöring og Lökken. Danm. geol. Undersög. I, 3, 1899 und Kortbl. Aalborg og Nibe (nordl. Del.). Ebenda I. 10. 1905.* — **G. de Geer,** *Quaternary sea-bottoms of western Sweden. Guide 23, XI. Int. Geol. Kongress. Stockholm 1910.* — **H. Munthe,** *Studies in the late-quaternary history of southern Sweden. Ebenda 25.* — **V. Tanner,** *Studier öfver kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar. I Till frågan om Ost-Finmarkens glaciation och nivåförandringar. Bull. Comm. geol. Finl. 18, 1906 und II. Nya bidrag till frågan om Finm. glaciation och nivåför. Fennia 26. 1. 1907.* — **Ramsay,** *Ueber die geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit. Fennia 16. 1. 1898 und Geologiens Grunder. Helsingfors 1909.* — **G. de Geer,** *On pleistocene changes of level in eastern North America. Proc. Boston Soc. Nat. Hist. XXV, 1892, 459.* — *Zu 5.* **F. G. Hahn,** *Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten. Leipzig 1879.* — **A. Gnirs,** *Beobachtungen über den Fortschritt einer säkulären Niveauschwankung des Meeres während der letzten zwei Jahrtausende. Mitt. K. K. Geogr. Ges. Wien 51, 1908, 1.* — **F. Nansen,** *The bathymetrical features of the North Polar Seas, with a discussion of the continental shelves and*

Digitized by Google

previous oscillations of the shore-line. The Norw. N. Pol. Exped. Sc. Res. IV, 1904. — **Th. C. Chamberlin and R. D. Salisbury,** *Geology III, 1906, 518.* — **G. Ziemendorff,** *Der Kontinentalschelf des Nordatlantischen Ozeans. Beitr. z. Geophysik, X, 1910, 468.* — *Zu* **S. Günther,** *s. oben.* — **M. P. Rudzki,** *Deformationen der Erde während der Eiszeit. Zeitschr. f. Gletscherkde., I, 1906/07, 182.* — **Kranz,** *Hebung oder Senkung des Meeresspiegels? Neues Jahrb. f. Min. usw., Beil., Bd. XXVIII, 1909, 574.*

G. Braun.

Nobel
Alfred.

Geboren am 21. Oktober 1833 zu Stockholm, gestorben am 10. Dezember 1896 in San Remo. Er hat seine chemischen Kenntnisse und seine außerordentlich praktische Veranlagung verwendet, um seit 1862 das 17 Jahre früher von Sobrero entdeckte Nitroglycerin als „Sprengöl" in die Technik einzuführen. Erst als Nobel die plastische Masse, die es mit Kieselguhr bildet, als Dynamit einzuführen verstand (seit 1867), begann dieser in der Folge mannigfach verbesserte Sprengstoff seinen Siegeszug durch die ganze Welt.

Nobel bestimmte die Erträgnisse seines großen Vermögens (50 Millionen Francs) zu fünf Preisen, deren drei für die wichtigsten Entdeckungen in den Gebieten der Physik, Chemie, Medizin und Physiologie, der vierte für das idealste literarische Werk von der schwedischen Akademie verteilt werden; den fünften, Friedenspreis, bestimmt der norwegische Storthing.

E. von Meyer.

Nomenklatur und Systematik der organischen Verbindungen

siehe den Artikel „Systematik und Nomenklatur der organischen Verbindungen".

Nordenskjöld
Nils Gustav.

Er wurde am 12. Oktober 1792 in Mänzälä in Finnland geboren, war Oberintendant und Direktor des finnischen Bergwesens, Professor der Mineralogie an der Universität in Helsingfors und starb am 21. Februar 1866 in Fragård in Nyland. Er ist der Vater des berühmten Polarforschers Adolf Erik Nordenskjöld, dem es gelang, auf dem Expeditionsschiff „Vega" die nordöstliche Durchfahrt aufzufinden.

Nils Nordenskjöld's Bedeutung beruht hauptsächlich auf mineralogischen Forschungen. Von seinem Sohn begleitet, bereiste er den Ural, wo er neue Mineralien fand und beschrieb. Er stellte eine Systematik der Mineralien auf chemischer Grundlage auf, die er in seinen Werken Försök till framställning af kemiska Mineral-Systemet (1827) und Ueber das atomistisch-chemische Mineralsystem und das Examinationssystem der Mineralien (Helsingfors 1849) klarlegt.

Literatur. Poggendorff's *Biograph.-lit. Handwörterbuch 2, 298; 3, II, 977.*

O. Marschall.

Nörrenberg
Johann Gottlieb Christian.

Geboren am 11. August 1787 in Pustenbach, Kreis Gummersbach, gestorben am 20. Juli 1862 in Stuttgart. Er war in rascher Folge Handlungslehrling, Feldmesser, Offizier in darmstädtischen Diensten, Professor der Mathematik und Physik in Darmstadt, von 1832 bis 1851 Professor der Physik in Tübingen, dann dort Privatmann. Er arbeitete auf dem Gebiet der Elektrizität und Optik, veröffentlichte Untersuchungen über die Ablenkung der Magnetnadel durch Maschinenelektrizität, über die Bestimmung des Differentialquotienten unbekannter Funktionen, und konstruierte den nach ihm benannten Polarisationsapparat.

E. Drude.

Nutzhölzer.

1. Allgemeines: a) Begriffsbestimmung und Statistisches. b) Anatomisches. c) Technische Eigenschaften. d) Verwendungsarten. e) Chemische Eigenschaften, Fehler. f) Namengebung. 2. Uebersicht über wichtige Nutzhölzer: a) Allgemeine Einteilung und Monokotylen. b) Nadelhölzer. c) Dikotyle Laubhölzer: α) Auffallend gefärbte Hölzer. β) Auffallend schwere Hölzer. γ) Auffallend leichte Hölzer. δ) Hölzer mittleren Verhaltens: I. Ringporige. II. Zerstreutporige: a) Markstrahlen breit. b) Markstrahlen meist unkenntlich. Hierzu drei Gruppen nach der Querschnittszeichnung: b_1 mit quer zu den Markstrahlen laufender Linienzeichnung, b_2 Gefäße mit hellen Höfen, b_3 Gefäße ohne Hof.

1. Allgemeines. 1 a) Begriffsbestimmung und Statistik. Ob eine Holzart als Nutzholz anzusprechen ist, hängt außer von ihrer Beschaffenheit von ihrem Vorkommen ab. In einem holzarmen Lande wird manche Holzart genutzt werden und einem Reisenden wertvoll erscheinen, die für andere Gebiete keinerlei Bedeutung besitzt. Ferner kann ein schönes an sich brauchbares Holz wertlos sein, weil Gewinnung und Transport zu viel Aufwand erfordern. Die Anzahl

Digitized by Google

der Hölzer, die auf dem europäischen Markt eine größere Rolle spielen, ist im Verhältnis zu der Menge der namentlich in den Tropen vorkommenden Baumarten gering. Sie mag sich, wenn man einige Kollektivbezeichnungen des Handels, wie Eiche, Mahagoni, Ebenholz, einmal gelten läßt, auf etwa 200 belaufen, die sich auf weniger als halb so viel Familien verteilen, von denen etwa 50 in der europäischen Flora vertreten sind. Es erklärt sich dies daraus, daß im Holzhandel nur diejenigen Hölzer sich leicht einführen, welche zum Massenverbrauch sich eignen, während an sich schöne aber nur zu besonderen Zwecken z. B zur Dekoration sich eignende Hölzer mit einer großen Konkurrenz und dem Wechsel der Mode zu rechnen haben.

Die wichtigsten Holzexportländer sind zurzeit:

Name	Betrag des Holzexports 1903 in Mill. M.	Betrag des Holzexports in Mill. Festmetern (1903)
Kanada	999,4	—
Vereinigte Staaten	206,2	—
Oesterreich-Ungarn	199,6	7,06
Schweden	166	6,90
Rußland	141	6,81
Finland	105	5,48
Norwegen	56	2,13

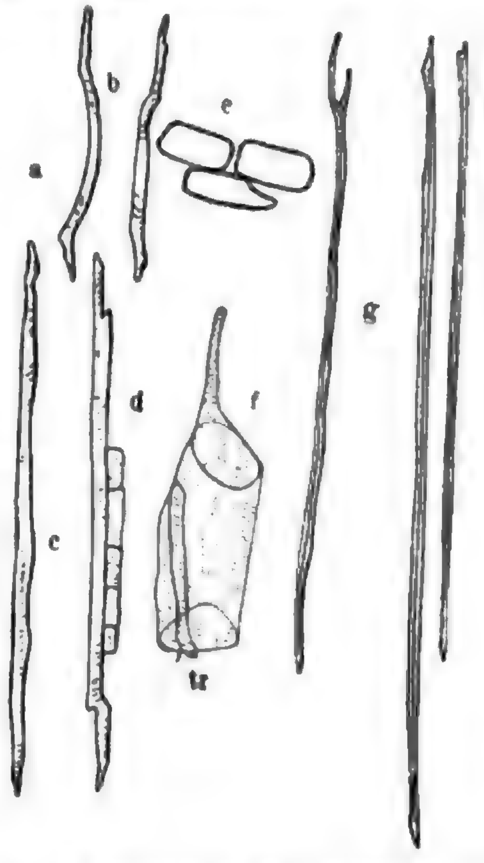
Von tropischen Ländern exportieren Englisch- und Niederländisch-Indien, Burma und Siam Tiekholz, das zu den wenigen tropischen Hölzern gehört, die in annähernd reinen Beständen wachsen. Das Deutsche Reich gehört, obwohl 25,89 % seiner Fläche mit Nutzwald bedeckt sind, zu den Holzimportländern, weil seine hochentwickelte Industrie mehr verbraucht als es hervorbringt. Ebenso sind Importländer Großbritannien, die Niederlande, Frankreich, Belgien, die Schweiz, die Mittelmeerländer und Australien, welch letzteres in den Eucalyptushölzern auch wertvolles Exportholz besitzt. Die Gesamtnutzholzeinfuhr Deutschlands betrug im freien Verkehr des deutschen Zollgebiets (Spezialhandel) 1910 5 746 000 Tonnen, wogegen die Holzausfuhr nur 307 000 Tonnen, also 5 439 000 Tonnen weniger erreichte. An der Einfuhr waren beteiligt Oesterreich-Ungarn mit 41,1 %, Rußland mit 37,5 %, Schweden mit 10,6 %, Vereinigte Staaten mit 7,5 % und Norwegen mit 1,0 % dem Gewicht nach.

Aus- und Einfuhr der Deutschen Schutzgebiete an Hölzern.

				M.
Ausfuhr	Aus D.-Ostafrika	1907	für	52 259
		1908	„	111 635
	Aus Kamerun	1907	für	94 785
		1908	„	159 065
	Aus D.-Neuguinea u. Bismarckarchipel	1907	für	—
		1908	„	2 450
Einfuhr an Baumaterialien, Holz	Nach D.-Ostafrika	1907	für	972 979
		1908	„	987 270
	Nach Kamerun	1907	für	612 255
		1908	„	547 834
	Nach D.-Neuguinea u. Bismarckarchipel	1907	für	105 235
		1908	„	79 476

Die holzreichsten unserer Schutzgebiete sind Kamerun und Neuguinea. Dann folgt D.-Ostafrika. Die größte Holzeinfuhr findet in Deutsch-südwestafrika statt, das kein Holz ausführt. Ziemlich bedeutend ist die Holzausfuhr aus Französisch-Aequatorialafrika, von dem ein Teil uns jetzt zufällt, über Gabun (Gabunmahagoni).

1 b) Anatomisches. Fig. 1 stellt die Elemente dar, welche das Holz in wechselnder Mischung zusammensetzen.



Figur 1. Bestandteile der Laubhölzer (Eiche) a b c Tracheiden, d Tracheide mit anhängendem Holzparenchym 60fach vergrößert, e Holzparenchymzellen 260fach vergrößert, f Gefäßstück mit einer anhängenden Tracheide tr, g Holzfasern 60fach vergrößert. Die Hoftüpfel sind durch die Präparation (Trennung der Holzelemente durch Erwärmen mit Salpetersäure und Kaliumchlorat) undeutlich geworden.

1. Die Gefäße. Die den Nadelhölzern und einigen wenigen Laubhölzern fehlenden Gefäße stellen wenige Zentimeter bis mehrere Meter lange, 0,02 mm bis 0,5 mm weite Röhren dar, die aus Reihen übereinander liegender Zellen durch einfache oder rostartige („leiterförmige") Durchbrechung der sie trennenden Wände entstanden sind. Sie erscheinen auf dem Querschnitt, soweit sie mit bloßem Auge sichtbar sind, als Poren,

Digitized by Google

auf Längsschnitten als feine wie mit einer Nadel eingeritzte Rinnen. Ihre Längswände (Fig. 2) tragen gewöhnlich runde oder elliptische Hoftüpfel oder auch spiralige Verdickungsleisten. Ihr Innenraum erscheint leer oder im Kernholz mit organischem oder mineralischem Inhalt oder mit dünn- oder dickwandigen Blasen, den Thyllen, erfüllt,

g

g

Figur 2. Laubholzlängsschnitt (Populus tremula, Zitterpappel). gg Gefäßwand mit Hoftüpfeln. 150fach vergrößert.[1])

die bei weitporigen Hölzern als glänzende oder irisierende Häutchen in den Gefäßräumen sich darstellen.

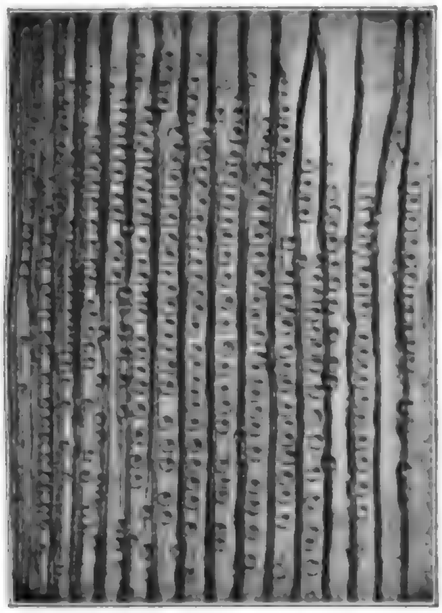


Fig. 3. Nadelholzlängsschnitt (Pinus silvestris, Kiefer), die großen Hoftüpfel der Tracheiden zeigend. 75fach vergrößert.

[1]) Die Figuren sind, mit Ausnahme von 1, 6, 7, 8, 11, nach Photographien der Firma Wigand in Zeitz hergestellt.

2. Tracheiden. Weniger als 1 mm bis mehrere Millimeter (Nadelhölzer) lange, ringsum geschlossene faserförmige Elemente, die gewöhnlich enger als die Gefäße sind, aber ebenfalls Hoftüpfel und manchmal auch spiralige Verdickungsleisten besitzen. Nadelholz (s. unten) besteht, abgesehen von den Markstrahlen, fast nur aus Tracheiden mit besonders großen Hoftüpfeln (Fig. 3).

3. Holzfasern (Libriformfasern, Sclerenchymfasern). Faserförmige Elemente mit sehr dicker Membran und fast verschwindendem Innenraum. Ihre Wand trägt wenige einfache sehr kleine und zur Längsachse der Faser schief gerichtete Tüpfel.

4. Holzparenchym. Weitlumige annähernd kurzzylindrische oder kurzparallelepipedische, auch faserartige („Ersatzfasern") Elemente mit einfach getüpfelter derber Membran. Sie sind außer den Zellen der Markstrahlen (s. unten) die einzigen lebenden Elemente des Splintholzes, führen oft Stärke und lassen auch oft noch andere dunkle Inhaltsreste erkennen.

5. Die Markstrahlen. Sie bestehen meist aus annähernd zylindrischen Zellen, deren lange Achse in der Richtung der Stammradien, also quer zur Längserstreckung aller anderen Holzelemente gelegen ist, und die Bänder bilden, deren Breite sich an radialen Längsschnitten des Holzes messen läßt. Sie schwankt zwischen etwa 1 mm und 1 cm. Gewöhnlich lassen sie sich auf solchen Schnitten nicht weit verfolgen, weil sie bald hier bald da Gefäßen ausbiegen und ihre verschiedenen Teile daher nicht in einer Ebene liegen. Mitunter (Kiefern) sind die Markstrahlen ober- und unterseits von liegenden Tracheiden begleitet, die das Erkennen der betreffenden Hölzer auch in sehr kleinen Partikeln ermöglichen (s. unten Kiefer und Fichte). Ihrem oft starken Glanz, der namentlich auf Längsschnitten der Hölzer hervortritt (Ahorn, Eiche), verdanken sie den Namen Spiegelfasern.

Genau von vorn gesehen erscheinen die Markstrahlen als kurze feine Längsstriche, die z. B. bei dem echten Mahagoniholz zu schichtweise übereinander liegenden Querreihen angeordnet sind („stockwerkartig" aufgebautes Holz). Oft sind die Markstrahlen erst unter der Lupe erkennbar. Bei Hasel, Hainbuche, Erle täuschen gefäßfreie Gewebestreifen breite, am Rand unscharfe Markstrahlen vor (Scheinmarkstrahlen). Markflecke sind braune oft mondsichelförmige schmale Flecke des Holzquerschnitts (Birke, Erle, Sorbus), die aus abgestorbenem Gewebe bestehen, das in den Gängen einer im Cambium fressenden Larve (Agromyza sp.) sich gebildet hat (Fig. 4).

6. Harzkanäle. Harzkanäle sind Interzellularräume, die bei vielen Nadelhölzern den

Digitized by Google

Holzkörper der Länge und Quere nach durchziehen. Sie erscheinen auf dem Holzquerschnitt als weißliche Pünktchen, auf Längsschnitten als feine Linien und sind von den Gefäßen durch ihre geringe Anzahl zu unterscheiden.

Figur 4. Laubholzquerschnitt (Crataegus oxyacantha Weißdorn) mit Markflecken. 2½fach vergrößert.

1c) Technische Eigenschaften. Unter den technischen Eigenschaften der Nutzhölzer ist das spezifische Gewicht besonders bezeichnend. Das spezifische Gewicht der Wandsubstanz der einzelnen Holzelemente ist, wenn nicht starke Verharzung, Verkalkung oder Verkieselung vorliegen, ungefähr gleich 1,56. Alle Hölzer, deren Hohlräume sich mit Wasser erfüllt haben, sinken daher in Wasser unter. Die Gewichtsunterschiede der Hölzer beruhen im wesentlichen auf dem Verhältnis zwischen der Wandmasse und den im Holze vorhandenen Hohlräumen, d. h. den Innenräumen der Gefäße, Tracheiden und sonstiger weitlumiger Bestandteile. Die spezifischen Gewichte schwanken demnach je nach den Umständen, unter denen das Holz erwächst, in weiten Grenzen, was bei Anpflanzung von Nutzhölzern außerhalb ihrer Heimat zu beachten ist.

Das spezifische Gewicht wird gewöhnlich nach dem lufttrockenen Zustand des Holzes angegeben, obwohl es je nach dem etwa zwischen 10 und 15% schwankenden Feuchtigkeitsgehalt solchen Holzes sich ändert. Der Wassergehalt frischen Holzes wechselt mit dem Wetter und der Jahreszeit und wird in der Praxis auf ca. 45% angenommen. Die leichtesten und die schwersten Hölzer finden sich unter den Laubhölzern, deren Mannigfaltigkeit weit größer als die der gefäßlosen Nadelhölzer ist. Die leichtesten Hölzer haben etwa das spezifische Gewicht 0,2 (Korkhölzer), die schwersten (Pockholz, Veilchenholz, Grenadille, Quebracho) 1,3 bis 1,4. Am zahlreichsten dürften die Hölzer von 0,5 bis 0,8 spezifischem Gewicht sein.

Von 77 westafrikanisch-tropischen Holzarten hatten

9%	sp. G. 1 und über 1	schwer
13%	„ „ 0,9 bis 0,99	
18%	„ „ 0,8 „ 0,89	
14%	„ „ 0,7 „ 0,79	mittelschwer
13%	„ „ 0,6 „ 0,69	
17%	„ „ 0,5 „ 0,59	leicht.
6%	„ „ 0,4 „ 0,49	
6%	„ „ 0,3 „ 0,39	
2%	„ „ 0,2 „ 0,29	

Die Härte des Holzes ist der Widerstand, den es einem Eindringen in seine Oberfläche bei der Bearbeitung entgegensetzt. Da die Härte der Holzsubstanz selbst, wie ihr Gewicht, überall ungefähr dieselbe ist und zwar etwa gleich der der niedersten Glieder der Härteskala der Mineralogen, ist jener Widerstand bei einer Holzprobe um so geringer, je mehr Hohlräume sie enthält, in welche hinein der eindringende Gegenstand die eigentliche Holzsubstanz, d. h. die Wände der Holzelemente, pressen kann. Die Holzhärte geht daher mit dem spezifischen Gewicht Hand in Hand.

Die härtesten Hölzer (Grenadille, von Dalbergia melanoxylon, tropisches Afrika) sind mehr als 55mal so hart als die weichsten (Ambatsch, Aeschynomene elaphroxylon vom Nil; Büsgen, Ztschr. f. Forst- und Jagdwesen 1904, 544 u. 1905, 251). Ich gebe die üblichen Ausdrücke für Holzhärten wieder und füge ihnen Beispiele und Zahlenwerte zu. Die letzteren zeigen an, wieviel mal hundert Gramm an Druck notwendig sind, um eine stählerne Nähnadel bestimmter Stärke 2 mm tief in die Hirnfläche des betreffenden Holzes an einer Stelle mittlerer Härte einzupressen: Härte I: sehr weich, 1 bis 10 (Salix, Ambatsch, Populus). Härte II: weich, 11 bis 20 (Kiefer, Erle). Härte III: etwas hart, 21 bis 30 (Eiche, Kirsche). Härte IV: hart, 31 bis 50 (Vogelbeere, Taxus, Hainbuche). Härte V: sehr hart, 51 bis 70 (Hartriegel, Ilex aquifolium). Härte VI: steinhart, 71 bis 140 und mehr (Buxus, Casuarina, Quebracho, Grenadille u. a.).

Ueber die Elastizität und die verschiedenen Arten der Festigkeit sind an wichtigen Nutzhölzern eingehende Untersuchungen angestellt worden, die zeigen, wie auch diese Größen von der Art des Holzes, seinem Wassergehalt, der Richtung, in der es in Anspruch genommen wird und seinen Entstehungsbedingungen abhängen (Exner l. c. und Tabelle). Viele Hölzer besitzen namentlich in naturfeuchtem oder gedämpftem Zustand eine große Formbarkeit oder Zähigkeit, d. h. sie ertragen eine bedeutende Formveränderung über die Elastizitätsgrenze hinaus ohne zu zerbrechen.

Dies macht sie zur Herstellung gekrümmter Stöcke, der Radfelgen und von Holzflecht-

Digitized by Google

werk geeignet und ermöglichte es *Thonet*, die Fabrikation der aus gebogenen Rundstäben von Buchenholz bestehenden Möbel zu begründen.

Elastizitätsgrenze (= „dem Gewicht, welches eine bleibende Verlängerung v. 0,000 05 der Stablänge bewirkt") von Hölzern im Vergleich mit Metallen; an Drähten von 1 qmm Querschnitt ermittelt (Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik u. Meteorologie, Bd. I, Braunschweig 1906, S. 329 ff.).

Blei, ausgezogen	0,25	kg
„ angelassen	0,20	„
Silber, ausgezogen	11	„
„ angelassen	3	„
Kupfer, ausgezogen	12	„
„ angelassen	3	„
Platin, ausgezogen	26	„
„ angelassen	14	„
Eisen, ausgezogen	32	„
„ angelassen	5	„
Stahldraht, ausgezogen	43	„
„ angelassen	15	„
Akazie	3,2	kg
Kiefer	1.6	„
Weißtanne	2,2	„
Hainbuche	1,3	„
Birke	1,6	„
Buche	2,3	„
Eiche	2,3	„
Ahorn	2,7	„
Pappel	1,5	„

Aus der Art der Zusammenfügung der Holzelemente und dem Faserverlauf erklärt sich die *Spaltbarkeit*, die je nach der Absicht, die man bei der Bearbeitung des Holzes verfolgt, bald als Nachteil bald als Vorzug sich geltend macht.

Issel gibt (*Krais* a. a. O. S. 359) u. a. folgende Beispiele für 8 Grade der Spaltbarkeit: 1. Aeußerst schwerspaltig: Buchsbaum, Eibe, Eberesche, Platane, Hartriegel. 2. Sehr schwer spaltbar: Weißbuche, Robinie, Ulme, *Acer campestre*. 3. Schwerspaltig: Esche, Ahorn. 4. Etwas schwerspaltig: Schwarzkiefer, Steinbuche (var. v. *Fagus silvatica*), Zwetsche. 5. Ziemlich leichtspaltig: Lärche, Rotbuche, Nußbaum. 6. Leichtspaltig: Kiefer, Esche, Erle, Eiche, Linde. 7. Sehr leichtspaltig: Fichte, Tanne. 8. Aeußerst leichtspaltig: Silberpappel, kanad. Pappel. Laufen die Fasern nicht gerade von oben nach unten, so spaltet das Holz schief (Drehwuchs). Am vollkommensten ist meist Spaltbarkeit in der Richtung der Spiegel (radiär). Die höchst unvollkommene Spaltbarkeit des *Pockholzes* beruht besonders darauf, daß die Fasern von oben nach unten in Wellenlinien verlaufen und, daß die Wellen in den konzentrisch aufeinander folgenden Holzschichten nicht übereinstimmen (*Flückiger*, Pharmakognosie III. Aufl. 1891, p. 487). Dazu kommt der feste Zusammenhalt und das unregelmäßige Ineinandergreifen der Fasern innerhalb der Wellensysteme.

Die Hauptvorzüge der Hölzer gegenüber den Metallen sind Leichtigkeit, geringe Sprödigkeit, Spaltbarkeit, geringes Wärmeleitungsvermögen, Weichheit und Formbarkeit bei oft großer Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse. Aus der folgenden Uebersicht über die wichtigsten Verwendungsarten der Nutzhölzer wird hervorgehen, wofür die verschiedenen Eigenschaften hauptsächlich in Frage kommen. Vorausgeschickt sei die Erklärung einiger *im Holzhandel üblicher Ausdrücke*: Halbfabrikat, fassonierte oder appretierte Ware heißt im Gegensatz zu „Rohholz" Holz, das schon etwas auf seine künftige Verwendung hin zugerichtet ist; Vollholz heißt Holz in seiner natürlichen Stärke im Gegensatz zu dem aufgespaltenen Stückholz und dem mit der Säge geteilten Schnittholz. Dimensionsholz sind die vom Zimmermann verwendeten Bauholzstücke im Gegensatz zu Bauschreinerholz. Balkenkanten, an denen die Rinde noch sitzt, heißen Waldkanten oder Wahnkanten.

1d) *Verwendungsarten des Holzes.* *Gute Form* (Vollholzigkeit) in Verbindung mit gehöriger Länge und Stärke bei großer Tragkraft und Dauer machten in Europa die Eiche besonders geeignet zur Verwendung im *Hochbau*, wo sie jetzt vielfach durch Fichte, Kiefer, Tanne und Lärche ersetzt ist. Verwendung des Holzes in Berührung mit der Erde, unter der Erde oder im Wasser verlangt *Dauer* im Wechsel von Nässe und Trockenheit oder unter Wasser. Hier kommen für *Rostbauten* und *Fundamente* Eiche und kernreiche Nadelhölzer wie Kiefer und Lärche, in Südeuropa die Edelkastanie, für Pflaster, das außerdem eine gewisse Härte und geringe Abnutzung erfordert, die australischen Eucalypten, *Pinus palustris* (Pitchpine), auch imprägniertes Buchen- und Nadelholz in Betracht. Von den ca. 1 Million Festmetern *Bahnschwellen*, die, eine durchschnittliche Dauer der Schwelle von 10 Jahren angenommen, das Deutsche Reich jährlich braucht, liefern Nadelholz (Kiefern) 55%, Eichen 40%, andere Laubhölzer, namentlich Buche (imprägniert) den Rest. Eisenschwellen nutzen das rollende Material rascher ab als Holzschwellen. *Grubenhölzer* liefern die dem jeweiligen Gebiet nächsten Holzarten, unter denen als bestes, aber teuerstes Eiche, Robinie, die dauerhafte Kiefer und die bessergeformte, aber ohne Imprägnation weniger dauerhafte Fichte zu nennen sind. Buche hat bei großer Tragkraft den Nachteil, zu brechen ohne vorher durch Knistern zu warnen. Dauernde Nässe erträgt außer Eiche, Lärche, Kiefer, auch Erle. Als *Schiffsbauholz*, insbesondere für die Tropen, ist vor allem das Tiekholz (*Tektona grandis*) beliebt, das bei großer Dauer nur wenig schwindet, mit Eisen keinen Rost erzeugt und von den weißen Ameisen nicht angegriffen wird, ferner Eichenholz, Pitchpine und Eucalypten; Masten und Segelstangen liefern Kiefern und Lärchen, *Ruder* Eschen, Eichen und Buchen. Für die Holzteile von *Maschinen* (Windmühlen, Pochwerke, landwirtschaftliche Maschinen) eignen sich harte, zähe, gegen Druck, Stoß und Abreibung widerstandsfähige Hölzer wie Eiche

Digitized by Google

Esche, Ulme, Buche, Weißbuche (Carpinus betulus). Schöne Farbe und Maserung, astfreie Faser, gute Bearbeitbarkeit und Politurfähigkeit, geringe Formveränderung bei Aenderungen der Luftfeuchtigkeit fordert die Möbelindustrie, Zähigkeit (Esche, Weißbuche, auch Buche, Ulme, Eiche) die Werkzeugschreinerei und Wagnerei, Schneidbarkeit der Modellschreiner und Holzschnitzer (Linde, Ahorn, Aspe, Birke, Buche, Nuß- und Obstbäume, auch Roßkastanie). Drechslerwaren müssen gleichmäßige Textur und Politurfähigkeit besitzen, wie sie Buchen, Ahorn, Hainbuche, Pockholz (Kegelkugeln), Buchs, Birnbaumholz, Birke haben. An Bahnwagen, die der Holzindustrie große Aufträge liefern, finden außer Dekorationshölzern als Boden u. a. Eiche, als Wand Esche, als Dach Ulme, Esche und Kiefer Verwendung. Leichte Hölzer dienen als den Leim gut aufnehmendes Blindholz für Fourniere, als Kisten (Zigarrenkistchen: sogenanntes Zedernholz von Cedrela odorata, Familie Meliaceen, Westindien; Gabunmahagoni wahrscheinlich von Okumea Kleineana, Westafrika, und Erle) auch als Zündhölzer, zu deren Herstellung das Holz der Zitterpappel, als leicht entflammbar, ohne Rauch verbrennend, wenig brüchig und leicht, sich besonders eignet. In der Fabrikation von Holzkörben, Siebrändern, Holztapeten, Schachteln, Damenhüten und Kinderspielwaren, auch der Dachschindeln, wird die Spaltbarkeit des Fichtenholzes ausgenutzt.

Der Glanz des Holzes hat für Möbel und Ziergeräte große Bedeutung und wird durch Polieren d. h. Glattschleifen und Ueberziehen mit Harzen namentlich mit Lösungen von Schellack in Spiritus, erhöht. Die Farben der Hölzer sind an Luft und Licht sehr veränderlich, können aber durch Lackieren oder Polieren haltbarer gemacht werden. Am häufigsten sind schwach gelbliche, rötliche und bräunliche Töne. Tiefere Färbungen sind meist an Zellwände und Zellinhalt des inneren Teils des Holzkörpers gebunden, der dann Kernholz genannt wird, und treten manchmal (Kiefer) erst einige Zeit nach der Fällung hervor. Das Kernholz, dessen Gefäße unwegsam sind (s. S. 201), ist meistens wasserärmer und widerstandsfähiger als der Splint, auch im pathologischen Kern der Buche (vgl. den Artikel „Baum"), soweit er aus Schutzholz besteht und nicht Faulkern geworden ist. Bei der Orangerotfärbung liegenden Erlenholzes, Altersbräunung der alpinen Holzhäuser und dem Grauwerden der Zäune sind Oxydationsprozesse, bei dem Grauwerden unter Mitwirkung von Eisenverbindungen (Schramm, Jahresber. d. Vereinigung für angewandte Botanik, 1906), beteiligt. Künstliche Färbung durch Anstrich oder Beize s. Krais a. a. O. Grünfäule und Blaufäule (Kiefern) des Holzes wird durch Pilze, erstere durch Peziza-Arten, letztere durch Ceratostomella pilifera, hervorgerufen.

ɪe) Chemische Eigenschaften. Die chemischen Eigenschaften des Holzes kommen in Betracht bei der Zellulosefabrikation. Sie beruht darauf, daß dem Holz das Lignin entzogen wird. Es ist dies eine wenig bekannte Substanz, welche bei der Fichte als ein Kondensationsprodukt von Coniferyl und Oxyconiferylalkohol (= Hadromal?) angesehen wird, das durch Adsorption mit der Fichtenzellulose verbunden ist (Klason, Schriften des Vereins d. Papier- und Zellstoffchemiker, 1911). Es macht neben der Zellulose 38 bis 52% der Holztrockensubstanz aus. Außer dem Zellulosegehalt und der Natur der Zellulose kommt für die Eignung eines Holzes zur Zellulosefabrikation die Länge der Faser in Betracht. Unsere Laubhölzer eignen sich weniger als die Nadelhölzer, von denen besonders die Fichte viel verwandt wird.

Im Holzsaft befinden sich außer Wasser Proteinstoffe, Kohlehydrate und verwandte Substanzen, Glykoside und Pflanzensäuren (Gerbstoffe im Quebrachoholz (20 bis 25%), Catechuholz, dem Holz der Edelkastanie, der Eichen und der Eucalyptusarten), Bitterstoffe (Quassiaholz), Harze, die keineswegs nur den Nadelhölzern zukommen, auch Kampfer, Alkaloide und andere Stoffe, die gewöhnlich mehr in der Rinde ihren Sitz haben und meist als Schutzmittel der Pflanze gegen die Angriffe der Tiere dienen. An frischgefällten Hölzern machen sich vielfach Riechstoffe bemerkbar, die wenn sie sich halten, für den Wert des Holzes mitbestimmend sein können (Bleistiftholz von Juniperus virginiana, Handschuhkasten von Santalum album (?), Zigarrenkisten von Cedrela odorata, Weichselholz zu Tabakspfeifen und Stöcken von Prunus mahaleb, zu Stöcken auch Vacapouholz aus Südamerika, zu Tabakspfeifen Veilchenholz von Acacia homalophylla in Südaustralien). Am liegenden Stamm befördert der Holzsaft die Verderbnis, indem sein Wasser und die in ihm gelösten organischen Stoffe die Ansiedelung von Pilzen begünstigen, die weiterhin die Holzsubstanz selbst angreifen. Um Holz haltbarer zu machen, wird es daher getrocknet, ausgelaugt oder mit Stoffen imprägniert, die tief eindringen und der Auslaugung im Freien widerstehen müssen. Solche Substanzen sind schweres Teeröl (Bahnschwellen), Kupfervitriol (Telegraphenstangen), Zinkpräparate und Quecksilberchlorid.

Der normale Aschengehalt der Hölzer beträgt 0,2 bis 0,6% des lufttrockenen Stammholzes. Kalium-, Calcium-

Digitized by Google

und Magnesiumverbindungen, auch Phosphorsäure pflegen in den Aschen reichlich vorhanden zu sein, deren Zusammensetzung im übrigen sehr wechselt. Hoher Mineralgehalt erschwert das Schneiden der Nutzhölzer, weil er die Sägen abstumpft.

Fehler des Nutzholzes sind, abgesehen von Zersetzungserscheinungen, Flecken und eingewachsenen Aesten, Drehwüchsigkeit und Schwinden. Erstere äußert sich oft schon am stehenden Stamm durch schrägen Verlauf der Rindenrisse, kann aber auch auf das Holz beschränkt sein und gibt sich dann beim Spalten durch schrägen Verlauf der Spaltflächen zu erkennen. Sehr verschiedene oft unbekannte Ursachen (eingewachsene Aeste, schlafende Augen, Verwundungen, Ersatzknospenbildung) können zu Störungen im Faserverlauf führen. Das Holz heißt dann wimmerig oder maserig.

Wimmeriger Wuchs gilt bei Bauholz als Fehler, wird aber in der Kunsttischlerei und Drechslerei oft sehr geschätzt (Tabakspfeifen aus dem maserwüchsigen Wurzelholz der Erica arborea (Bruyèreholz), von Pfeifenköpfen aus Birkenmaser und Dosen aus gemasertem Buchsbaumwurzelholz, Stöcke, gemaserte Fourniere (z. B. ungarisches Eschenholz) und der Vogelaugenahorn (Acer saccharinum Wangh.) aus Nordamerika). Bei der Auswahl von Proben neu einzuführender Hölzer ist darauf zu achten, daß man sie guten, gerade gewachsenen Stämmen mit normalem Faserverlauf entnimmt.

Das Schwinden, d. h. Volumverminderung beim Austrocknen, ist eine Folge der Hygroskopizität und Quellbarkeit der Holzsubstanz. Stark quellbares Holz „arbeitet", „wirft" sich oder verzieht sich beim Wechsel der Luftfeuchtigkeit und taugt nicht ohne weiteres zur Herstellung von Gegenständen, die aus größeren Holzstücken zusammengesetzt sind. Geringe Neigung zum Schwinden zeigen die Nadelhölzer und nach Issel (Krais l. c. p. 345): Ahorn, Eiche, Esche, Eucalyptus, Tiekholz, Kiefer, Ulme; ziemlich stark schwinden: Aspe, Birke, Birne, Pappel; sehr stark: Buche, Linde, Nußbaum, Hainbuche. Ein häufig angewendetes Mittel gegen die Folgen des Schwindens ist, daß man größere Holzsachen nicht aus einem Stücke macht, sondern durch Zusammenleimen kleinerer Teile aus einer und derselben oder aus verschiedenen Holzarten mit sich kreuzender Faserrichtung herstellt.

1f) Namengebung. In der Namengebung der Nutzhölzer im Handel herrscht eine gewisse Willkür. Da die wichtigsten Herkunftsländer botanisch durchforscht sind, wird verhältnismäßig selten die Baumart, von der ein Nutzholz kommt, wissenschaftlich noch ganz unbekannt sein. In vielen Fällen aber weiß man nicht, welche Art ein im Handel befindliches Nutzholz liefert, weil immer nur das Holz, aber nicht die zugehörigen Blüten und Früchte, mit deren Hilfe eine wissenschaftliche Bestimmung möglich wäre, zur Einfuhr gelangen.

So ist der Holzhändler darauf angewiesen, ein Holz, das die Eingeborenen im Walde werben sollen, mit dem nicht immer eindeutigen Namen der letzteren zu benennen oder es selbst mit einem Namen zu belegen. Aeußere Aehnlichkeit mit einem schon bekannten Holz gibt dann zu Bezeichnungen Anlaß, welche die Geltung eines Namens ins Grenzenlose erweitern und seine ursprüngliche Bedeutung verwischen (vgl. Ebenholz, Mahagoni, Birnbaum).

2. Uebersicht über einige Nutzhölzer.

2a) Allgemeine Einteilung und Monokotylen. Sicheres Bestimmen von Hölzern ist im allgemeinen nur durch genaues Studium möglich. Bei beschränkter Auswahl und Kenntnis der Herkunft kann aber auch der Laie dieses und jenes häufiger im Gebrauch vorkommende Holz erkennen. Zu seiner Orientierung dient die folgende Uebersicht. Für eingehendere Studien sei auf die am Schluß zitierte Literatur, namentlich auf die Arbeiten Wilhelms verwiesen, denen mein Material, soweit eigene Beobachtung nicht möglich war, entnommen ist. Bestimmungsmerkmale liefert vor allem die Zeichnung der Hölzer, die, ihren Wert nicht selten mitbedingend, auf Längsschnitten als Flader oder Maserung hervortritt, zum Bestimmen aber am besten auf glatten Querschnitten untersucht wird. Sie ist unserer Uebersicht als Einteilungsprinzip zugrunde gelegt.

Bezüglich der Jahresringe vgl. den Artikel „Baum".

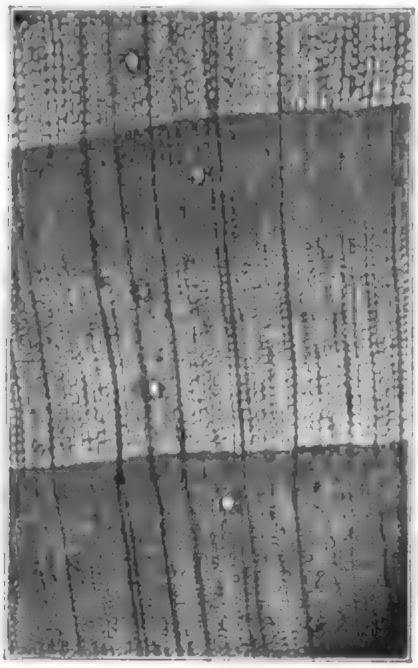
Man unterscheidet leicht drei Gruppen von Hölzern.

1. Nadelhölzer. Ohne Gefäße, daher auf dem Querschnitt, von den Harzkanälen abgesehen, ohne Poren (Fig. 5) und auf Längsschnitten auch für die Lupenbetrachtung ohne „Nadelrisse", soweit nicht Harzkanäle vorhanden sind, welche ihrer geringen Zahl wegen nicht mit Gefäßen verwechselt werden können. Jahresringe sehr deutlich, Markstrahlen nur auf dem radialen Längsschnitt kenntlich. Das Holz besteht in der Hauptmasse aus im Frühholz weiteren, im Spätholz engeren Tracheiden, die gewöhnlich sehr regelmäßig in radial gerichteten Reihen angeordnet sind. Sie tragen auf den Radialwänden große Hoftüpfel und manchmal auch spiralige Verdickungsleisten.

2. Dikotyle Laubhölzer. Es sind Gefäße vorhanden, die wenigstens mit der Lupe meist erkannt werden können. Die Jahresringe sind oft weniger scharf abgegrenzt als bei den Nadelhölzern, die Mark-

Digitized by Google

strahlen schon auf dem Querschnitt mit der Lupe, oft mit bloßem Auge sichtbar. Der innere Bau ist sehr mannigfaltig, da alle Arten von Holzelementen (s. oben) vorhanden und verschieden gruppiert sein können.



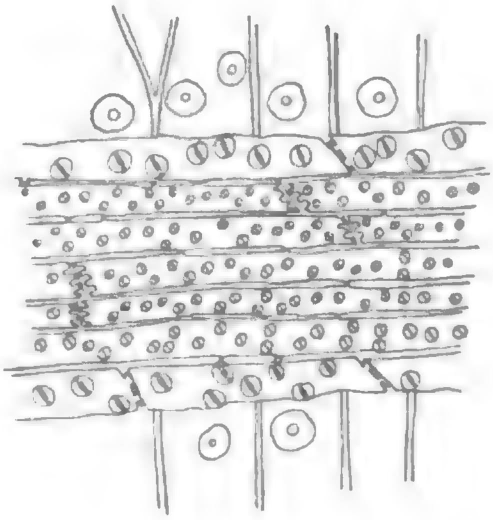
Figur 5. Nadelholzquerschnitt mit 5 Harzkanälen. Larix europaea, Lärche. 25fach vergrößert.

3. Palmen, Dracaenen, Bambus. Der Querschnitt des Holzes dieser Pflanzen zeigt über die Schnittfläche zerstreut die punktförmigen Durchschnitte der Gefäßbündel, welche als drahtartige Stränge das Innere ihrer Stämme, soweit sie nicht hohl sind (Bambus), von oben nach unten durchziehen.

Am wichtigsten für Europa sind die schlanken 1 bis wenige Zentimeter dicken Stämme der Kletterpalmen (Calamus und verwandte Gattungen), die als Rotang das Material für Gartenmöbel, die biegsamen Stöcke aus „spanischem Rohr" und, gespalten, Flechtwerk für Rohrstuhlsitze liefern. Sie gehören den Tropen der alten Welt (Ostasien, Kamerun) an. Andere Palmen liefern braunes, von schwarzen Strängen durchzogenes Holz zu Spazierstöcken und Holz für den Kunsttischler (Cocos, Phoenix, Borassus, Arenga), das wohl als Rebhuhnholz bezeichnet wird, welcher Name auch an dikotyle Hölzer vergeben ist. Hellgelblich gefärbtes Holz baumartiger Dracaenen ist aus Kamerun nach Europa gelangt. Von anderen monokotylen Hölzern kommen innen hohle, knotig gegliederte Bambus-Halme (Familie Gramineen) aus Ostasien als Stöcke und Angelruten im Handel vor. Auch als Furnier haben die punktierten Querschnittsflächen von Cocos und Bambus Beachtung gefunden.

2b) Nadelhölzer. Für Europa kommen in erster Linie in Betracht Fichte, Kiefer, Tanne, Lärche, Zirbelkiefer und Taxus, von Ausländern Pitch-pineholz, von Pinus palustris in den südöstlichen Staaten Nordamerikas und das sogenannte virginische Zedernholz von Juniperus virginiana im östlichen Nordamerika. In Nordamerika ist das Holz zahlreicher dort einheimischer Coniferenarten in Gebrauch, von denen einige z. B. Douglastanne, Sitkafichte, Weymouthskiefer bei uns forstlich angebaut werden. Auch mit dem wichtigsten Nadelholz der Japaner, Cryptomeria japonica sind gelegentliche Anbauversuche gemacht worden.

Fichtenholz von Picea excelsa. Spezifisches Gewicht 0,48—0,51, Farbe hellgelblichweiß. Ohne Kern, wenige Harzkanäle, die auf dem Hirnschnitt als weißliche Punkte, auf Längsschnitten als schwache Nadelrisse erscheinen. Die rötlich-graue Rinde bildet rundliche ziemlich flache Schuppen. Obere und untere Kante der Markstrahlen aus liegenden Tracheiden mit runden Hoftüpfeln mit schrägem Spalt gebildet (Fig. 6).



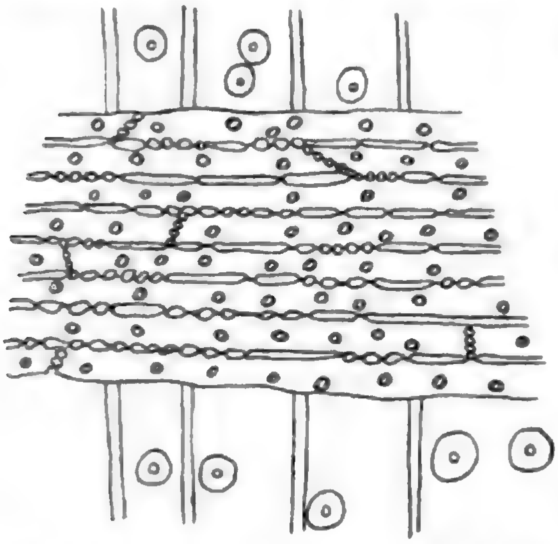
Figur 6. Fichtenholzlängsschnitt in der Richtung des Stammradius. Zeigt ein Stück Markstrahl in Flächenansicht. 170fach vergrößert.

Die übrigen Markstrahlzellen haben nur wo sie an Tracheiden grenzen kleine Hoftüpfel mit undeutlichem Hof, an den anderen Wänden einfache Tüpfel (s. Fig. 6). Besonders gesucht zu Resonanzböden der Musikinstrumente ist das Haselfichtenholz mit sehr gleichmäßigen schmalen Jahresringen und etwas glänzenden kurzen Streifen auf den Längsschnittflächen, die aus einer abweichenden Anordnung der Fasern sich erklären.

Tannenholz von Abies pectinata. Spez. G. 0,45—0,48. Ohne Kern und ohne Harzgänge. Die Farbe gleicht der des Fichtenholzes, doch tritt, besonders im Spätholz, oft ein rötlicher Ton hervor. Die graue Rinde bleibt lange glatt. Ihrer Farbe verdankt der Baum den Namen Weißtanne im Gegensatz zur Fichte, die der Rinde wegen Rottanne genannt wird. Die Markstrahlen bestehen aus Parenchymzellen, die nur, wo sie an enge (Spätholz-)Tracheiden grenzen, deutliche gehöfte Tüpfel besitzen (Fig. 7.) Mitunter findet man das Holz von den Saugwurzeln der Tannenmistel durchlöchert.

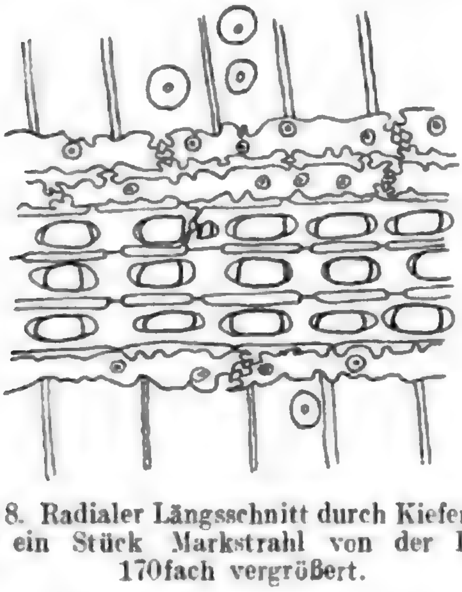
Digitized by Google

Kiefernholz v. Pinus silvestris. Sp. G. 0,31—0,74. Mit rotbraunem Kern, dessen Farbe erst nach dem Fällen sich ganz entwickelt, zahlreichen Harzkanälen und dicker borkiger Rinde,



Figur 7. Radialer Längsschnitt durch Weißtannenholz. Zeigt ein Stück Markstrahl in Flächenansicht. 160fach vergrößert.

deren Schuppen durch tiefbraune Korkschichten voneinander getrennt sind. Die Markstrahlen führen an beiden Kanten Tracheiden mit zackigen Wandverdickungen (Fig. 8). Ihre Parenchym-



Figur 8. Radialer Längsschnitt durch Kiefernholz. Zeigt ein Stück Markstrahl von der Fläche. 170fach vergrößert.

zellen führen da, wo sie an weite (Frühholz-) Tracheiden grenzen, sehr große elliptische Tüpfel, deren kurze Achse fast die Länge der Markstrahlzellenhöhe erreicht. Das Gelbkiefernholz, meist Pitch pine (Yellow pine, hard pine) genannt, von P. palustris im Süden und Südosten der Vereinigten Staaten, unterscheidet sich von unserem Kiefernholz durch den gelbroten bis rötlich braunen, im Längsschnitt schön gestreiften, oft stark verkienten Kern und die dem Querschnitt einer Linse gleichenden großen Tüpfel der Parenchymzellen im Markstrahl. Sp. G. 0,5—0,9.

Seiner Dauerhaftigkeit und Schönheit wegen ist es wohl das am meisten verwendete aller bei uns eingeführten amerikanischen Hölzer.

Zirbelkiefer (Pinus cembra) und Weymouthskiefer (Pinus strobus aus Nordamerika, bei uns gebaut) haben besonders leichtes Holz (Sp. G. 0,39), dessen Markstrahltracheiden die zackigen Verdickungen fehlen, während die Tüpfel des Markstrahlenparenchyms wie bei unserer und der Gelbkiefer beschaffen sind. Das Zirbelholz besitzt in der schönen rotbraunen Farbe der eingewachsenen Aeste eine an Wandtäfelungen in den Alpen besonders geschätzte Eigenschaft.

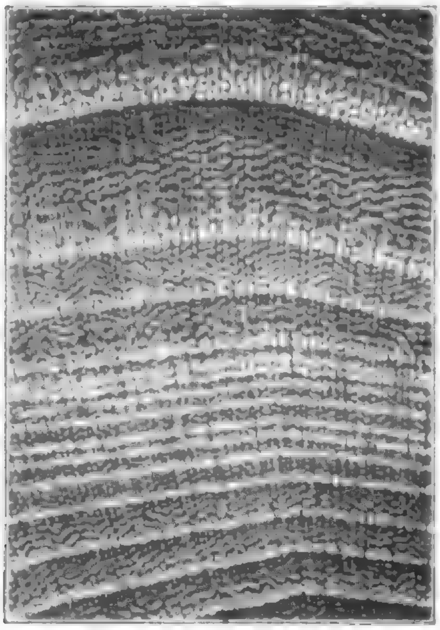
Lärchenholz von Larix decidua (Sp. G. 0,58—0,63) hat einen rötlich braunen Kern, sehr scharf abgegrenzte rötliche Spätholzzonen und weit weniger Harzkanäle als Kiefernholz. Die Korkschichten zwischen den Schuppen der Rinde, die im übrigen der Kiefernrinde gleicht, haben oft einen auffälligen Stich ins Karminrote. Mikroskopisch ist das Holz nur durch sehr eingehende Untersuchung vom Fichtenholz zu unterscheiden (s. Wilhelm in Wiesner, Rohstoffe). Es ist wie dieses sehr vielseitiger Verwendung fähig und für Bauzwecke nach Wilhelm das geschätzteste aller Nadelhölzer. Im Brett weicht es von Kiefernholz durch die unregelmäßig zerstreuten Astspuren ab. Diese sind bei der Kiefer quirlig angeordnet. Dem Lärchenholz ähnlich ist das Holz der Douglastanne, Pseudotsuga Douglasii, die, aus dem westlichen Nordamerika stammend, seit einiger Zeit bei uns angebaut ist. Sie besitzt auch in breiten Jahresringen viel Spätholz, so daß hier der breitere Ring nicht, wie meist bei der Fichte, leichteres Holz zu bedeuten braucht. Unter dem Mikroskop ist ihr Holz gegenüber dem der oben genannten Nadelhölzer an schraubigen Verdickungsleisten der Tracheiden zu erkennen. Aehnliche Leisten hat das Taxusholz, das aber das hohe Gewicht (bis 0,84), die Schmalheit der Ringe, der tiefbraune Kern und die in glatten flachen Schuppen sich loslösende Borke von ihm unterscheiden. Es dient dem Drechsler und Kunsttischler u. a. schwarz gebeizt als bester Ersatz für Ebenholz. Das Holz des virginischen Wacholder ist durch den von den Faberstiften her wohlbekannten Geruch charakterisiert. Es teilt den Namen Zedernholz mit anderen nordamerikanischen Cupressaceen und mit dem in Usambara gewonnenen Holz von Juniperus procera (Usambara-Zeder), das man als Ersatz einzuführen versucht. Das Holz der eigentlichen Zedernarten (Cedrus Libani in Kleinasien, Cedrus atlantica im Atlas, Cedrus Deodara im Himalaya) kommt in Deutschland kaum zur Verwendung. Das westindische Zedernholz oder Zigarrenkistenholz stammt von einem Laubbaum (Cedrela odorata Fam. Meliaceen) und wird besser Cedrelaholz genannt.

2c) Dikotyle Laubhölzer. Wir teilen die Laubhölzer ein in α) auffallend gefärbte Hölzer, β) auffallend schwere Hölzer (spezifisches Gewicht ungefähr = 1), γ) auffallend leichte Hölzer (Korkhölzer, spezifisches Gewicht ca. 0,35 und weniger) und δ) solche, die in den genannten Beziehungen ein mittleres Verhalten zeigen. Diese letzteren

Digitized by Google

werden in Gruppen gebracht, deren Nummer auch bei den Hölzern der erstgenannten Abteilungen, je nach ihrer Zugehörigkeit angegeben ist. Als Einteilungsprinzip der Gruppen gilt die Zeichnung, welche die Hölzer auf einem glatten, genau senkrecht zur Faserrichtung laufenden Querschnitt mit bloßem Auge oder der Lupe erkennen lassen. Die Gruppen sind folgende:

I. Ringporige Hölzer. (Fig. 9.)



Figur 9. Ringporiges Holz der Feldulme, U l m u s c a m p e s t r i s. $2\frac{1}{2}$fach vergrößert.

Deutlich sichtbare Gefäße bilden auf dem Querschnitt Zonen, die durch sehr feinporige oder dichte, verschieden gezeichnete Holzpartien (Zwischenzonen) voneinander getrennt sind. Ist das Holz sehr engringig, so verschwinden diese Zwischenmassen; die Gefäßzonen folgen dann dicht aufeinander und die sichere Bestimmung des Holzes ist erschwert.

II. Zerstreutporige Hölzer. (Fig. 10.)

Die bald weiten bald engen Gefäße sind über den ganzen Querschnitt verteilt.

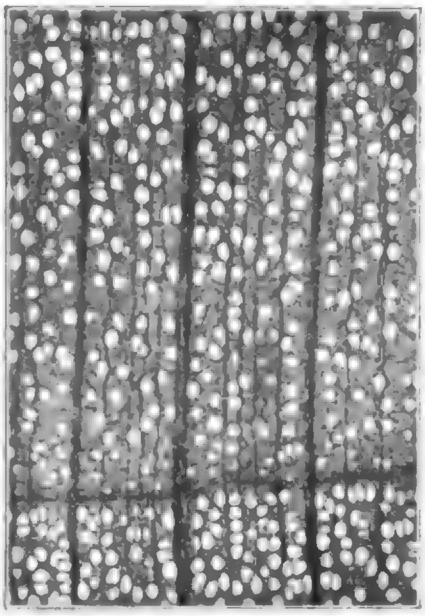
a) Markstrahlen deutlich sichtbar, breiter als die Gefäße.

b) Markstrahlen nicht breiter als die Gefäße, meist unkenntlich.

b_1 Holzparenchym und weite Tracheiden bilden senkrecht zu den Markstrahlen verlaufende ununterbrochene oder nur hier und da aufgelöste Linien, welche meist die Gefäße einschließen (wie Fig. 9).

b_2 Holzparenchym und weite Tracheiden bilden helle Höfe um die Gefäße herum, die oft zu kurzen meist schrägen Zeilen angeordnet sind.

b_3 Außer den Gefäßen, die als unbehofte Poren erscheinen, und etwaigen Jahresringen keine Zeichnung. Wenn die Gefäße sehr eng sind, erscheint das Holz dem freien Auge völlig gleichartig.



Figur 10. Querschnitt des zerstreutporigen Holzes der Rotbuche, F a g u s s i l v a t i c a. 25fach vergrößert.

α) A u f f a l l e n d g e f ä r b t e H ö l z e r (grünfaules und blaufaules Holz s. S. 10). Die zum Teil scharlachroten, an der Luft aber nachdunkelnden R o t h ö l z e r stammen meistens von ostindischen und afrikanischen P t e r o c a r p u s-Arten (Familie Leguminosen) und werden als rotes Santelholz, Padouk, Kaliaturholz (II, b_1), eine Kameruner Art als M u ë n g e (II b_1) bezeichnet; auch Bahiarotholz stammt von einer Leguminose. Die Rotholzeinfuhr aus Französisch-Westafrika und Columbien betrug 1910 0,007 Mill. Doppelzentner für 0,068 Mill. M., 0,002 Mill. Doppelzentner (= 0,035 Mill. M.) wurden von uns nach Oesterreich-Ungarn und dem europäischen Rußland ausgeführt. Rothölzer finden als Holz meist in der Kunsttischlerei Verwendung, Muënge z. B. für Automobilfensterrahmen. An der Luft fast purpurschwarz wird das K ö n i g s h o l z aus Madagaskar (II b_1 Sp. G. ca. 1), dessen Stammpflanze noch unbekannt ist. Hellrot sind z. B. afrikanisches und brasilianisches R o s e n h o l z, von denen das letztere harte, im Wasser untersinkende, aber gut spaltbare und mit tief roten Ringzonen oder Streifen geschmückte von P h y s o c a l y m n a f l o r i b u n d u m (Familie Leguminosen) in Peru, das erstere von Pterocarpus-Arten (Familie Leguminosen) abstammt. Mehr als Farbstoffquelle, aber auch für Kunsttischlerei und z. B. für Geigenbogen kommen das brasilianische F e r n a m b u k h o l z (II b_2, sp. G. 0,81—0,94) und das zentralamerikanische B l a u h o l z oder C a m p e c h e h o l z (II b_1 sp. G., ca. 1) in Betracht, dessen Naturfarbe übrigens ein tiefes Blutrot ist. Die Stammpflanzen beider sind Leguminosen. Gelben Farbstoff liefert das ziemlich harte gelbe Brasilholz oder echte G e l b h o l z, auch echter Fustik (II b_1—$_2$) von C h l o r o p h o r a t i n c t o r i a (Familie Moraceen) im tropischen Amerika.

Digitized by Google

Leuchtend gelb und weich, aber am Licht verblassend ist das Njeholz (II a, sp. G. ca. 0,58) von Enantia chlorantha (Familie Anonaceen) aus Kamerun; grünlich gelb das „grüne Ebenholz" (II b_2, sp. G. 1,21) von Tecoma leucoxylon; (Familie Bignoniaceen) im tropischen Amerika; rötlich gelb das brasilianische Orangeholz (II b_2, ziemlich schwer) dessen unbekannte Stammpflanze jedenfalls keine Orange ist; braungelb Viktoriaholz aus Brasilien (II b_{1-2}, schwer); durch braungelbe Farbe mit starkem goldartigem Seidenglanz endlich zeichnet sich das ebenfalls brasilianische weiche und großporige Vinhaticoholz (II, c) aus. Ihm ähneln in der Farbe das Holz des Maulbeerbaumes Morus alba (Familie Moraceen), Kaukasus bis Nordchina, bei uns angepflanzt (I, sp. G. 0,58—0,77) und der bei uns heimisch gewordenen nordamerikanischen Robinia pseudacacia (Familie Leguminosen), des Schotendorns oder der falschen Akazie: Locustholz (I, sp. G. 0,77). Glänzend gelb mit einem Schimmer ins Goldgrüne ist Fisetholz (ungarisches Gelbholz) von dem südeuropäischen Perrückenstrauch (Cotinus coggygria I, aber mit sehr engen Gefäßen, sp. G. 0,51—0,60), gelb ohne Glanz das Holz des Sauerdorns (Berberis vulgaris) und des Pfaffenhütchens oder Spindelbaumes (Evonymus europaea, II b_2, von sehr gleichmäßigem dichtem Bau. Sp. G. 0,70). Gelbe, gelbrote, rötliche und gelbbraune, auch rein braune Farbentöne sind überhaupt häufig und auch unter den noch der Einführung harrenden Kameruner Hölzern mehrfach vertreten. Blauviolett ist das Amaranthholz („blaues Ebenholz", Violettholz, Purpurholz II b_2, sp. G. 0,8) von Copaifera bracteata Benth. (Familie Leguminosen). Tiefschwarz, mitunter mit helleren Streifen, sind vor allem die echten Ebenhölzer, in Wasser untersinkende, für das bloße Auge fast ganz gleichmäßig gebaute (II b_2, sp. G. 1,187—1,33) Hölzer, die von indischen und westafrikanischen Arten der Gattung Diospyros (Familie Ebenaceen) abstammen. Die schwarze Farbe, die nur dem Kern, nicht dem Splintholz zukommt, rührt von Stoffen her, welche die Innenräume der Holzelemente erfüllen und auch ihre Membranen etwas färben. Auf dem Holzquerschnitt kann man mit der Lupe die Gefäße und als äußerst feine aus glänzenden Punkten zusammengesetzte Linien die Markstrahlen, mit Anstrengung wohl auch noch das Holzparenchym als feinste die Markstrahlen kreuzende Linienzeichnung erkennen. Der Glanz der Markstrahlen rührt von einem Gehalt ihrer Zellen an Calciumoxalatkristallen her. Kristalle sind daher auch in der Asche des echten Ebenholzes sehr reichlich enthalten. Je nach der Herkunft werden Bombay-, Macassar-, Coromandel-, Kamerun-, Madagaskar- u. a. Ebenhölzer unterschieden, die auch in Bau und Farbe etwas voneinander abweichen. Südwestafrikanisches Ebenholz liefert die im Namaland häufige Euclea pseudoebenus (Familie Ebenaceen). Unter den europäischen Hölzern werden z. B. Taxus und Birnholz schwarz gefärbt als Ebenholzersatz verwandt.

Grünes und weißes Ebenholz werden mißbräuchlich einige von Pflanzen ganz anderer Familien abstammende Hölzer genannt, die mit den echten Ebenhölzern nur das hohe spezifische Gewicht und ein verhältnismäßig gleichartiges Gefüge gemein haben. Dem echten Ebenholz an Gewicht und gleichmäßig dichtem Bau sehr ähnlich ist das schwarzviolette afrikanische Grenadilleholz, von Dalbergia melanoxylon, Familie Leguminosen (Holzblasinstrumente, Messergriffe). Andere schwere dunkelfarbige Hölzer sind das mehr braune Kokusholz (auch Kuba-Grenadille, Antillen) von Brya ebenus, Familie Leguminosen, abstammend, und das braune, schwarze oder schwarzgrüne, fast gar nicht spaltbare Pockholz von Guajacum officinale (Familie Zygophyllaceae, Westindien, Kegelkugeln).

β) Auffallend schwere Hölzer. Auffallend schwere Hölzer von nicht besonders auffallender Färbung sind in Europa das im Splint hellgelbliche, im Kern licht violette, oft mit Streifen in denselben Farben versehene Fliederholz von Syringa vulgaris, das, schwerspaltig, sehr politurfähig und für das bloße Auge fast strukturlos, zu feinen Drechslerarbeiten sich eignet, und das sehr hellbraune dunkel geaderte oder gestreifte Olivenholz von Olea europaea (II b_2, sp. G. 0,92); ferner das Holz der Hartriegelarten, namentlich der amerikanischen Cornus florida (IIa, sp. G. 0,81) und der Heckenkirsche, Lonicera xylosteum (sp. G. 0,90), Beinholz, das Peitschenstiele, Ladestöcke, auch Pfeifenrohre liefert.

Buchsbaumholz von Buxus sempervirens (II b_2, sp. G. 0,99—1,02) in den Mittelmeerländern und dem Orient, ist gelb und zeichnet sich durch so gleichmäßigen dichten Bau aus, daß es zum besten Material für die Holzstöcke der Holzschnittkunst geworden ist. Markstrahlen und Ringgrenzen sind eben sichtbar, die Gefäße aber bleiben auch unter der Lupe fast unkenntlich. Afrikanische, westindische und australische Buchsbaumhölzer sind etwas weicher und stammen von Pflanzen ganz anderer Familien ab.

Eisenholz heißen mehrere tropische Harthölzer, darunter ein Rebhuhnholz aus Südamerika, auch Partridgeholz genannt (Familie Leguminosen, sp. G. bis über 1), das tief dunkelkarminrote bis rotbraune Bongosiholz (von Lophira alata, Familie Ochnaceen, II b_1, sp. G. 1) des Kameruner Küstenwaldes und das Holz australischer und tropisch asiatischer Casuarinen, die vielfach angepflanzt werden (II a bis b, sp. G. ca. 1). Das grünlich graubraune Greenheart oder Grünherzholz (II b_2, sp. G. über 1) soll u. a. von Nectandra Rodioei (Familie Lauraceen) in Britisch-Guiana stammen (Wasserbauten). Eins der härtesten aller Hölzer ist das dunkelrote, schlecht spaltende, aber Gerbstoff liefernde Quebrachoholz (II b_2, sp. G. 1,11—1,13) von Schinopsis-Arten (Familie Anacardiaceen) in Argentinien und Paraguay. Gerbstoffhaltig sind auch die Eucalyptushölzer Australiens (Familien Myrtaceen, II b_2, sp. G. 0,7—1), von denen die hellbraunen Blackbutt (von Eucalyptus pilularis) und Tallowwood (von Eucalyptus mikrocorys, fettreich) als Straßenpflaster, die dunkelbraunen Yarrah (von Eucalyptus marginata) und Karri (von Eucalyptus versicolor) auch als Möbelholz wichtig werden.

γ) Auffallend leichte Hölzer. Auffallend leichte Hölzer, die von Leguminosen abstammen (Erythrina? sp., Aeschynomene elaphroxylon Ambatsch, vom Nil, sp. G. 0,207)

Digitized by Google

sind als Korkhölzer bekannt. Andere, so das Holz des in Kamerun häufigen Buma, Kapok oder Wollbaumes (Ceiba pentandra, Familie Bombacaceen) werden als Blindholz in der Fournierindustrie verwandt. Bokuka bambale, auch afrikanische Pappel, von Alstonia congensis (Familie Apocynaceen sp. G. 0,359—0,43) liefert in Kamerun aus einem Stück geschnitzte Schemel; das hellrötlich glänzende, auf den Schnittflächen etwas fasernde Holz des im Kameruner Waldland auf Lichtungen allgemein auftretenden Schirmbaumes, Bosenge Fig. 11

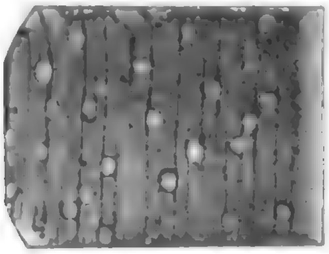
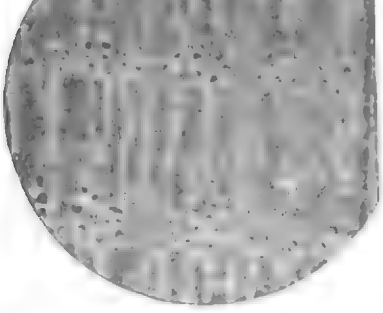


Fig. 11. Musanga Smithii. Holzquerschnitt. 7 mal vergrößert.

(Musanga Smithii, Familie Moraceen, sp. G. 0,295), harrt noch der Verwendung. Kaju gaboes, mit mehreren anderen Hölzern wohl auch Boxholz genannt, liefern die senkrecht aus dem Boden hervorwachsenden Atemwurzeln von Sonneratia acida (Familie Lythraceen) in den malayischen Mangrovegebieten. Andere leichte Hölzer liefern Linden (sp. G. 0,52, vorzügliches Schnitzholz), Weiden (sp. G. 0,35—0,45, Kisten, Papiermasse, Holzschuhe), Pappeln (sp. G. 0,41—0,51, Koffer, Zündhölzchen, Holzflechtwerk, Zellulose); Cottonwood von Populus canadensis, afrik. Pappel (siehe oben Bokuka), Tulpenbaum (Whitewood) von Liriodendron tulipifera, Familie Magnoliaceen, Nordamerika (graugrünlich, sp. G. 0,52—0,62; auch amerikanisches Pappelholz genannt; gemasert: Canarywood) und Roßkastanie, deren Holz ins Rötliche und Gelbe spielt (sp. G. 0,53; Blindholz, Schnitzwaren).

δ) Hölzer mittleren Verhaltens.

I. Ringporige Hölzer. Eichenholz (sp. G. 0,76), mit breitem Kern und stark hervortretenden Markstrahlen (Fig. 12), zeigt von den Gefäßzonen



Figur 12. Weißeichenholz. Querschnitt. 7 fach vergrößert.

aus in das Spätholz hinein verlaufende, etwas geschlängelte Linien, in denen bei dem etwas weniger wertvollen Schwarzeichenholz (Quercus rubra und, nur als Brennholz benutzt, Q. cerris) unter der Lupe wenige dickwandige Gefäße sichtbar werden, bei den Weißeichen (Quercus sessiliflora, pedunculata) kleine Gefäße in großer Menge vorhanden sind. Die beiden letzteren Arten liefern fast ausschließlich das mitteleuropäische Eichenholz, das als wertvollstes aller europäischen Nutzhölzer gilt und, gut spaltbar, dauerhaft und wenig schwindend, zu vielseitigster Verwendung in großen und kleinen Abmessungen sich eignet.

In den schmalen Jahresringen langsamwüchsiger Eichen ist fast nur das gefäßreiche lockere Frühholz ausgebildet, so daß hier die Porenringe der verschiedenen Jahre unmittelbar aufeinander folgen. Solches Holz ist leichter und weicher als breitringiges Eichenholz, bei welchem zwischen die Porenringe dichtes, faserreiches Spätholz sich einschiebt. Das schmalringige Holz der Traubeneichen des mitteldeutschen Berglandes (Spessart) ist deshalb für die Möbelfabrikation beliebt.

Die Einfuhr von Eichenholz in Deutschland betrug 1910 2,21 Mill. Doppelzentner für 15,8 Mill. Mark. Daran waren, nach fallenden Mengen geordnet, beteiligt Frankreich, Oesterreich-Ungarn, Europäisches Rußland, Japan und die Vereinigten Staaten. Die deutsche Ausfuhr betrug 0,237 Mill. Doppelzentner (= 2,1 Mill. M.) und ging nach England, Belgien, Holland und Frankreich.

Ulmenholz, von Ulmus campestris und montana, weniger von Ulmus effusa, sp. G. 0,66—0,74) eignet sich, da es nicht leicht spaltet, zu Gewehrschäften, Kanonenlafetten, Hackklötzen und anderen Gegenständen, die heftigen Erschütterungen ausgesetzt sind. Es besitzt kaum kenntliche Markstrahlen, zwischen den Gefäßzonen in der Richtung der Jahresringe wellig verlaufende, oft unterbrochene Linienzeichnung und dunkelfarbigen Kern (Fig. 9).

Eschenholz (sp. G. 0,73) von Fraxinus excelsior und amerikanischen und japanischen Arten, spaltet ebenfalls schwer und liefert Gerätestiele, Wagnerarbeiten, Handgriffe, Bänke in Eisenbahnwagen. Vom Eichenholz durch hellere Farbe und das Fehlen der breiten Markstrahlen unterschieden. In der Wagnerei soll ihm das nordamerikanische Hickoryholz (von Caryaarten, Familie Juglandaceen) überlegen sein.

Tiekholz (Fig. 13): das heller oder dunkler braune, in der Farbe dem Eichenholz ähnliche,

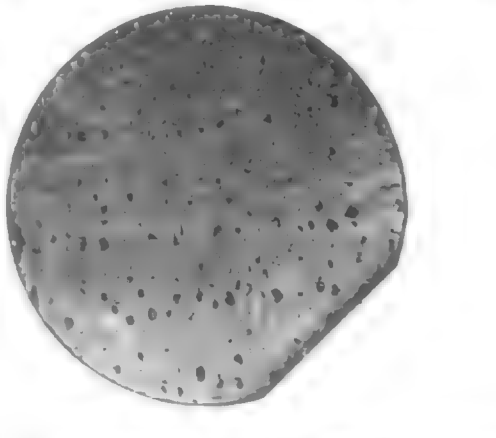


Fig. 13. Tiekholzquerschnitt. 7 mal vergrößert.

Digitized by Google

Holz besitzt eben sichtbare Markstrahlen und in den Zwischenzonen zwischen den Porenringen helle Gefäßpünktchen (sp. G. ca. 0,63). Die Gefäße enthalten oft weiße Mineralmassen (mit ca. 40% Phosphorsäure und ca. 30% Calcium), die namentlich auf Längsschnitten das Holz oft gut kenntlich machen. Es ist das wichtigste aller Tropenhölzer und dient zu den verschiedensten Zwecken, für welche seine gute Spaltbarkeit und sein geringes Schwinden vorteilhaft sind, namentlich aber zum Schiffsbau. Besonders wichtig ist, daß es im Kern weißen Ameisen und manchen Bohrmuscheln (Teredo navalis, nicht aber der Pholas striata) widersteht. Außerdem rosten in Tiekplanken eingeschlagene Nägel nicht, weil es keine Gerbsäure enthält. Das Holz kommt in verschiedenen Varietäten in den Handel, die alle von Tektona grandis (Familie Verbenaceae) stammen. Leider ist indessen der Name Tiek auch auf andere Hölzer (vgl. Mvule, p. 212) übertragen worden. Tektona grandis ist im nordöstlichen Vorderindien, namentlich aber in Siam, Burma und auf Java, wo der Baum (dort Djati genannt) Gegenstand einer intensiven Forstwirtschaft ist, zu Hause.

II. **Zerstreutporige Hölzer.** a) Zerstreutporige Hölzer, deren **Markstrahlen wenigstens zum Teil deutlich sichtbar** und breiter als die Gefäße sind.

Mehr breite Markstrahlen als irgendein anderes europäisches Holz hat das zähe, schwerspaltige, aber wenig dauerhafte Platanenholz. An den Jahresringgrenzen oft etwas verbreitert sind die Markstrahlen des schwach rötlichen Rotbuchenholzes (von Fagus silvatica, Fig. 10, Sp. G. 0,71), dem trotz seiner Spaltbarkeit, starken Schwindens und geringer Dauer seine Formbarkeit (s. oben) und Imprägnierbarkeit, namentlich aber seine Verbreitung und seine Billigkeit einen Platz in der Möbelindustrie, als Parkett, als Schuhleisten, als Schnitzholz für Gegenstände des Hausbedarfs und selbst als Bahnschwelle erhalten haben. Vorkommen, Heizkraft und leichter Brand haben es von jeher zum schätzbarsten Brennholz gemacht. Durch besonders schönen Glanz der scharf gezeichneten Markstrahlen (Fig. 14) zeichnet sich das schwach gelbliche oder rötliche, glattspaltige, mäßig schwindende Ahornholz aus (sp. G. 0,53 bis 0,79), das Möbel und oft schön gemaserte Wandvertäfelungen liefert und im Haushalt als leicht zu reinigendes Geräte, z. B. als Brettchen zum Fleischschneiden, erscheint. Ebenfalls durch scharfe Zeichnung der Markstrahlen und außerdem durch eigentümliche Braunfärbung des Kerns bei schmalem rötlich-weißem Splint, auch durch Anhäufung der Gefäße im Frühholz (Fig. 14) sind die von Prunus-Arten abstammenden Hölzer charakterisiert: das dunkelfarbige Pflaumenholz (sp. G. 0,79, Faßhähne) und das hellere sehr politurfähige und trotz starken Schwindens in der Möbelindustrie und Drechslerei beliebte Kirschholz (sp. G. 0,68—0,9). Beide sind sehr schwer spaltig.

Fig. 14. Querschnitt durch Ahornholz, Acer pseudoplatanus. $2\frac{1}{2}$fach vergrößert.

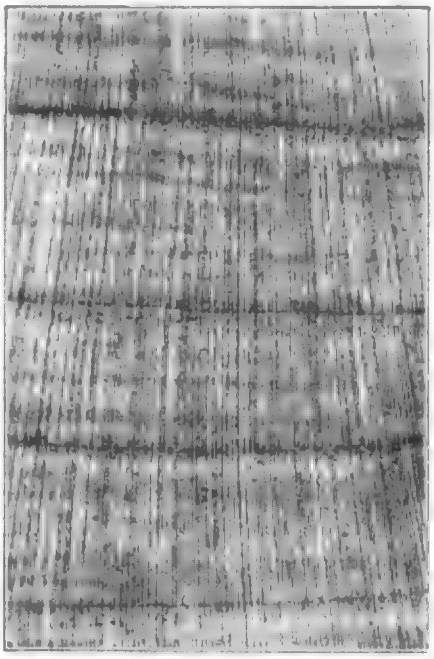


Fig. 15. Prunus-Holz. $2\frac{1}{2}$mal vergrößert.

Unter den Hölzern mit Scheinmarkstrahlen (s. S. 201) zeichnet sich das fast weiße, zähe und schwer spaltbare Hainbuchenholz (Fig. 16) (von Carpinus betulus, sp. G. 0,74, Werkzeuge, Maschinenteile, Nägel, Schuhstifte) durch buchtigen Verlauf der Jahresringe aus; das rötliche Erlenholz ist leicht (sp. G. 0,51), weich, gut schneidbar und daher für Formkästen, Holzschuhe, Zigarrenkistchen und anderes gröberes Schnitzwerk verwendbar. Das schwer spaltbare harte Bruyèreholz, das Wurzelstockholz der Baumheide, Erica arborea, der Mittelmeerländer, die auch am Kilimandscharo vorkommt, liefert die schöngemaserten kurzen braunen Tabakspfeifen. Seidenhölzer oder Satinholz endlich heißen lebhaft glänzende Hölzer aus Ost- (von Chloroxylon Swietenia, Familie Rutaceen) und West- (von Fagara flava, Familie Rutaceen) Indien, die als gelbe (daher auch Citronenholz) Zierhölzer Verwendung finden.

Digitized by Google

b) Zerstreutporige Hölzer, deren Markstrahlen nicht breiter als die Gefäße und meist für das bloße Auge unkenntlich sind.

Fig. 16. Querschnitt durch Weißbuchenholz, Carpinus betulus. 2½fach vergrößert.

b_1) Holzparenchym und Tracheiden bilden mehr oder weniger zusammenhängende, zu den Markstrahlen senkrecht verlaufende, Linien.

Hierher gehören Rotholz (s. S. 208), Bongosi (s. S. 209) und andere Tropenhölzer, darunter das schön rotbraune Holz des Küstenbaums Calophyllum inophyllum, der das Tacamahacharz liefert (Neusüdwales, Deutschostafrika, Möbel, Täfelung). Die Zeichnung tritt nach Befeuchten besser hervor.

b_2) Holzparenchym und Tracheiden nur helle Höfe um die Gefäße bildend, die regellos zerstreut oder zu kurzen zu den Markstrahlen quer oder schräg verlaufenden Zeilen angeordnet sind. Im letzteren Fall können die Höfe zu kurzen Linien zusammenfließen.

Hierhin gehören manche farbige, namentlich aber ziemlich harte Hölzer, was sich daraus erklärt, daß die Zwischenräume zwischen den hellen Höfen durch dickwandige Fasern ausgefüllt sind. Mvule oder Odum, in Kamerun Bang, Momangi, auch Buscheiche und afrikanisches Tiekholz genannt, von Chlorophora excelsa (Familie Moraceen), sp. G. 0,6—1,0. Bräunlich gelb, glänzend, ein wertvolles termitensicheres Bau- und Möbelholz aus dem tropischen Ost- und Westafrika, auch in unseren dortigen Kolonien nicht selten. Im frischen Zustand enthalten Splint und Rinde Milchsaft. Es kommt bereits in ziemlichen Mengen nach Europa und wurde 1911 nach einem Bericht über die Entwickelung Usambaras zum Preise von 145 M. pro Festmeter von der Waggon- und Schiffbauindustrie gern genommen. Mkweo, ein dem amerikanischen Nußholz ähnliches schönes graues Holz aus Deutschostafrika hat sich für Telephonkästen bewährt und wird für die innere Einrichtung der D-Zugwagen und der Kajüten und Salons großer Dampfer verwandt. Es ist von mäßiger Schwere und Härte und spaltet leicht. Zebraholz heißen Hölzer, bei denen sehr dunkelfarbige Zonen mit hellen abwechseln. Sie stammen, soweit ihre Herkunft ermittelt ist, von tropischen Laubhölzern der alten und neuen Welt, die verschiedenen Familien angehören. Palisander oder Jacaranda aus Brasilien, Ostindien und Madagaskar, von Leguminosen und Bignoniaceen hergeleitet, ist eins der bekanntesten Luxushölzer, das als Fournier sehr viel verwendet wird. Es ist heller oder dunkler braun mit einem Stich ins Violette und zeigt auf dem Querschnitt dunkelfarbige Zonen, die Längsschnitten eine schöne Maserung verleihen. Die den Gefäßlängsschnitten entsprechenden „Nadelrisse" sind oft mit schwarzen glänzenden Massen ausgefüllt. Es ist schwer und spaltet uneben.

b_3) Zwischen den schmalen oder unsichtbaren Markstrahlen Gefäße ohne hellen Hof, aber keine sonstige Zeichnung sichtbar. Wenn die Gefäße eng sind, erscheint das Holz völlig gleichmäßig gebaut.

An den großen im Jahresring zerstreuten Gefäßen und der grauen, etwas wolkigen Farbe wird das Holz des gemeinen Nußbaums, Juglans regia (Mitteleuropa bis Ostasien) erkannt (Sp. G. 0,45 bis 0,68, leichtspaltig und dauerhaft, Möbelholz). Auch das dunkelgrauviolett gefärbte Holz der amerikanischen Schwarznuß, Juglans nigra, wird viel verwandt. Uebrigens gehen unter dem Namen Nußholz auch afrikanische (z. B. Mkweo s. o.) und ostindische Hölzer. Recht vieldeutig ist der Name Mahagoni. Ursprünglich wurde darunter das aus Zentralamerika stammende Holz von Swietenia mahagoni (Familie Meliaceen) verstanden. Dieses „echte" Mahagoni (sp. G. 0,56 bis 0,87) ist in verschiedenen Tönen zimtbraun oder rötlichbraun und zeigt auf dem Querschnitt außer den mit bloßem Auge eben sichtbaren zerstreuten Gefäßen feine, Jahrringgrenzen ähnelnde Linien; auf den schwach nadelrissigen Sehnenschnitten stockwerkartige (s. oben) Anordnung der Markstrahldurchschnitte. Das Holz, wohl auch heute noch das beliebteste aller tropischen Zierhölzer, spaltet schwer, schwindet wenig, nimmt Politur gut an und eignet sich auch zu Fournieren. Bedeutende Mengen anderer Mahagoni genannter Hölzer kommen aus Westafrika in den Handel, so Okume (Aukoumea Klaineana, Familie Terebinthaceen) in der Zigarrenkistenfabrikation, das namentlich als Ersatz für das Cedrelaholz und als Blindholz statt des Pappelholzes benutzt wird. Es ist leichter und hell-farbiger als Mahagoni und von Moiréglanz. Besser verdienen den Namen Mahagoni dunkler gefärbte und härtere Hölzer westafrikanischer Herkunft, die zum Teil auch von Meliaceen; Khaya Kleinii, Entandrophragma Candollei (Acajou von Gabun, angeblich von einer Rubiacee) abstammen. Als Kameruner Mahagoni wird das rötlichbraune mit einer sehr feinen Netzzeichnung und sehr zahlreichen eben sichtbaren Gefäßen

Digitized by Google

versehene Holz des Njabi (Mimusops djave, Familie Sapotaceen, spezifisches Gewicht 0,84 bis 0,91) bezeichnet, der in Kamerun nicht selten ist und auch Oelfrüchte liefert. Dieselbe oder eine andere Mimusopsart liefert das afrikanische Birnbaumholz. Das Holz unseres Birnbaums, Pirus communis, ist glanzlos, hellrötlich und läßt Gefäße und Markstrahlen erst unter der Lupe erkennen (spezifisches Gewicht 0,71 bis 0,73; Schnitzer- und Drechslerarbeiten, schwarz gebeizt Ersatz für Ebenholz). Von anderen Pomaceen liefert die Elsbeere (Sorbus torminalis) Holz für Meßinstrumente, die Vogelbeere (Sorbus aucuparia) Wagnerholz. Von weicheren Hölzern gehört Birkenholz hierher (spezifisches Gewicht 0,65), das schwach rötlich ist und auf dem Querschnitt zahlreiche kleine schwach weißliche Fleckchen besitzt. Es wird zu Möbeln verarbeitet, für welche namentlich gemaserte Stücke aus Schweden gesucht sind.

Literatur. *Monatliche Nachweise über den auswärtigen Handel Deutschlands herausgegeben v. Kaiserl. statistischen Amte. Dezemberheft 1910. Berlin 1911.* — **Boulger**, *Wood, a manual of the natural history and industrial applications of the timbers of commerce. II. Edition. London 1908.* — **Büsgen**, *Beiträge zur Kenntnis der Pflanzenwelt und der Hölzer des Kameruner Waldlandes. Mitt. a. d. deutschen Schutzgebieten, 2. Heft. Berlin 1910.* — **Endres**, *Forstpolitik. Berlin 1905.* — **Engler und Harms**, *Einige Nutzhölzer Kameruns. Notizblatt d. Königl. bot. Gartens usw. zu Dahlem bei Steglitz. Appendix XXI. Leipzig 1911.* — **Lorey**, *Handbuch der Forstwissenschaft, 2. Aufl., II. Bd. Tübingen 1903. Darin* **Exner**, *Die technischen Eigenschaften der Hölzer und* **Schwackhöfer** *Forstlich-chemische Technologie.* — **Gilg**, *Die Nutzhölzer Ostafrikas und ihre Verwertung. In „Pflanzenwelt Ostafrikas" herausgegeben unter Redaktion von Ad. Engler. Teil B. Berlin 1895.* — **Hanausek**, *Nutzhölzer. In Luegers Lexikon d. ges. Technik; II. Aufl., VI.* — **Jentsch**, *Der Urwald Kameruns. Beihefte zum Tropenpflanzer, Bd. XII, Nr. 1 und 2. Berlin 1911.* — **Krais**, *Gewerbliche Materialkunde, Bd. I. Die Hölzer von* **Wilhelm**. *Stuttgart 1910. (Zur Zeit bestes Mittel zur ersten Orientierung.)* — **Solereder**, *Systematische Anatomie der Dicotyledonen. Stuttgart 1899 und 1908.* — **Strasburger, Jost, Schenck, Karsten**, *Lehrbuch der Botanik, 11. Aufl. Jena 1911.* — **Volkens**, *Die Nutzpflanzen Togos. Notizblatt d. Kgl. botan. Gartens usw. zu Dahlem. Appendix XXII, 1, 2. Leipzig 1909.* — **Wilhelm**, *Hölzer. In „Rohstoffe des Pflanzenreichs". Herausgegeben von Wiesner, II, 2. Aufl. Leipzig 1903.*

M. Büsgen.

Digitized by Google

O.

Obsidian.

Obsidian ist ein vulkanisches Gesteinsglas, entstanden durch schnelle Abkühlung einer Lava (vgl. den Artikel „Gesteinseinteilung").

Obst.

Mit Einschluß der sogenannten Südfrüchte.

1. Begriffsbestimmung und chemische Zusammensetzung. 2. Einteilung. 3. Uebersichtliche Beschreibung: a) Kernobst. b) Steinobst. c) Beerenobst. d) Schalenobst. e) Tropenobst. 4. Obstverwertung und Aufbewahrung.

1. Begriffsbestimmung und chemische Zusammensetzung. Als Obst werden teils in frischem Zustande zur Verwendung kommende, teils getrocknete oder auf andere Weise genußfähig gemachte Früchte und Samen bezeichnet, deren Verwendbarkeit (Genießbarkeit) entweder auf einem bestimmten Gehalt von Zucker, organischen Säuren und Pektinstoffen nebst aromatischen Substanzen (I. Obstgruppe), oder auf dem Gehalt von Eiweißkörpern, Fett, seltener von Stärke beruht (II. Obstgruppe). In diese Begriffsdarstellung fallen auch die aus den Mittelmeerländern und einzelnen Tropengebieten stammenden „Südfrüchte", während man bei uns unter Obst in der Regel nur die einheimischen Früchte der ersten Gruppe zu verstehen pflegt, was insofern nicht unbegründet erscheint, als den „Südfrüchten" nebst der Verschiedenheit in ihren Eigenschaften meist auch noch andere Verwendungsarten, als sie bei unseren Obstarten üblich sind, zukommen.

In bezug auf die Inhaltsstoffe ist folgendes anzuführen. Je nach den Fruchtarten sind auch die Säuren verschieden. Die verbreitetsten Obstarten, wie Apfel, Birne, Pflaume, Aprikose, Pfirsich, Kirsche, enthalten Aepfelsäure, Weinbeeren (Weintrauben) diese und Weinsäure (Rechtsweinsäure, Weinsteinsäure), Zitronen und andere Agrumen Zitronensäure, Johannis- und Stachelbeeren Apfel- und Zitronensäure, Preiselbeeren außerdem noch Benzoesäure. Der Gehalt an freier Säure ist höchst verschieden und vielfach abhängig von der Reife, Kultursorte, Kulturart, von klimatischen Verhältnissen, er kann bei frischen süßen Früchten bis 0,2 % sinken, und andererseits, wie bei Orangen und Preiselbeeren auf 2,4 % steigen. Die Hauptmenge des in Früchten vorkommenden Zuckers besteht aus einem Gemisch von Dextrose und Lävulose (d-Fruktose) in wechselnden Verhältnissen; außerdem enthalten viele Früchte auch Rohrzucker, oft sogar in größerer Menge, wie Ananas (11,3 % bei einem Gesamtzuckergehalt von 12,3 %), Erdbeeren, Aprikosen (6 %, Gesamtzuckergehalt 8,78 %), Mirabellen 5 %, Orangen 4 %. In vielen Früchten (in Pflaumen, Kirschen, Aepfeln, Birnen, Vogelbeeren (in diesen zuerst gefunden) ist Sorbit, ein sechswertiger Alkohol enthalten, der durch Oxydation in eine Zuckerart, Sorbose, übergeht.

Die den charakteristischen, spezifischen Geschmack und den meist sehr angenehmen Geruch bedingenden Stoffe sind ätherische Oele oder nicht näher bekannte aromatische Verbindungen. Ueber die Pektinkörper wird bei der Obstverwertung gesprochen werden.

Zufolge des sehr geringen Gehaltes an Stickstoffsubstanzen und des hohen Wassergehaltes (Kern- und Steinobst 80 bis 84 %, Erdbeeren 87 bis 90 %) im frischen Zustande ist der Nährwert dieser Gruppe verhältnismäßig gering (nur die Datteln bilden ein Nahrungsmittel). Hygienisch beachtenswert ist aber die erfrischende Wirkung der Pflanzensäuren, die leichte Resorbierbarkeit des Zuckers, die meist günstige Beeinflussung der Darmtätigkeit u. a. m.

Die Obstarten der zweiten Gruppe, die sich durch hohen Gehalt an Eiweißkörpern,

Digitized by Google

Fett und auch an Stärke auszeichnen und denen auch viele „ölliefernde“ Früchte und Samen angehören, können als wahre Nahrungsmittel bezeichnet werden; einige von ihnen, wie Kastanien, Bananen, Kokosnüsse, Früchte des Brotfruchtbaumes, sind in warmen Ländern für die Ernährung unentbehrlich.

2. **Einteilung.** Schon im vorhergehenden Absatz wurde klargelegt, daß die Obstarten nach ihren Hauptbestandteilen in zwei Gruppen geschieden werden können. Nach der Reifezeit und nach der Zeit der Gebrauchsfähigkeit läßt sich das Obst in Früh- oder Sommer-, Spät- oder Herbstobst, und in Winterobst gruppieren. Das im Handel und in der Praxis geltende Einteilungsprinzip fußt auf äußeren Merkmalen, die sich aber durchaus nicht immer mit den botanisch-morphologischen Grundsätzen decken. Danach gibt es Kernobst (die meisten apfelfrüchtigen Obstarten, von Südfrüchten das Johannisbrot), Steinobst (Pflaumenfrüchte usw.), Beerenobst (echte Beeren und beerenähnliche Früchte), und endlich Schalenobst, wozu die nußartigen Früchte und einzelne Steinfrüchte gehören. Von letzterem sind nur die Samen (oder der Samenmantel, wie bei der Litschifrucht), von den übrigen das Fruchtfleisch genießbar (bei Anacardium und Hovenia die Fruchtstiele).

Von den zahlreichen Tropenfrüchten, die bei uns wenig oder nicht bekannt sind, werden die wichtigsten anhangsweise besprochen werden.

3. **Uebersichtliche Beschreibung.** 3a) Kernobst. Aepfel, die vollkommen reifen Früchte des kultivierten Apfelbaumes, Pirus Malus L. (Fam. Rosaceae-Pomoideae-Pomarieae). Nach der Spielart von sehr verschiedener Größe, Gestalt, Oberflächenbeschaffenheit und Konsistenz. Geruch der feineren Sorten sehr angenehm, Geschmack säuerlich-süß, säuerlich oder vorwaltend süß. Gehalt an Wasser 80 bis 87%, an Zucker 4 bis 16%; größere Mengen von Apfelsäure und Pektinkörpern, die das Gelatinieren des Apfelmuses bewirken. Außer zum Genusse im frischen und gekochten Zustande noch viel verwendet zu Marmeladen, Gelee, Obstbutter, Most und Apfelwein. Konservierte Aepfel kommen in Gestalt von gedörrten Spalten oder Scheiben in den Handel.

Die walnußgroßen Früchte (Zieräpfel) von Pirus baccata L. werden als Dunstobst verwendet.

Die Zahl der Spielarten ist ungemein groß, zu den beliebtesten gehören: Calville, (Rippenäpfel), Reinetten, Parmainen, Spitzäpfel (Rosmarinäpfel), Taffetiner u. a. m. Nach der Verwendung unterscheidet man Tafel-, Kochäpfel und alle minderwertigen Sorten als Mostäpfel.

Aepfel sind das volkswirtschaftlich wertvollste und auch beliebteste Obst, insbesondere der kühleren gemäßigten Zonen. Die Kultur des Apfelbaumes erstreckt sich in Europa von Schweden über Mitteleuropa bis Norditalien und Spanien und ist in Nordamerika besonders in Kalifornien und Kanada entwickelt. Auch in den außertropischen Gebieten der übrigen Weltteile wird die Kultur in ausgedehntem Maße betrieben.

Die zahlreichen Formen des kultivierten Apfelbaumes sollen durch Kultur und Kreuzungen von drei orientalischen Arten (Pirus pumila Mill., Strauchapfel, im Kaukasus und Altai, Pirus dasyphylla Borkh., filzblätteriger Apfelbaum, in Kleinasien und Pirus prunifolia Willd., pflaumenblätteriger Apfelbaum aus Südsibirien und Nordchina) entstanden sein. Ob der mitteleuropäische Holzapfel (Pirus silvestris Mill.) ursprünglich wild ist und aus Asien stammt oder aus den Kulturäpfeln verwildert ist, kann nicht sicher entschieden werden.

Birnen, Früchte des kultivierten Birnbaumes (Pirus communis L.), ausgezeichnet durch die allerdings sehr abweichende, im allgemeinen dem Stiele zu keulenförmige Gestalt, und vorwaltend süßen Geschmack. Feine Sorten besitzen sehr saftiges, leicht zerfallendes („schmelzendes“) Fruchtfleisch. Mostbirnen sind erst im teigigen Zustande genießbar. Birnen enthalten weniger Säure und mehr Zucker und Pektinkörper als die Aepfel; anatomisch unterscheiden sie sich von diesen dadurch, daß das Fruchtfleisch von Gruppen (mächtig verdickter und verholzter) Steinzellen durchsetzt ist, deren größere Anhäufung die Bezeichnung „steinige Birnen“ erklärlich macht. Birnen werden als Tafel-, Koch- und Dunstobst verwendet, gedörrte Birnen sind die „Hutzeln“ oder „Klötzen“ („Klötzenbrot“ der Alpenländer zur Weihnachtszeit). Bekannte Sorten sind: Butterbirnen (Kaiserbirnen, Isambartbirnen,) Bergamotten, Zuckerbirnen, Russeletten, Muskateller, Gewürzbirnen u. a. m. Als Stammarten des kultivierten Birnbaumes werden der Holzbirnbaum, P. Achras Gaert, ferner P. Persica Pers., P. elaeagrifolia Pall. (Orient), und P. cordata Desv. (Form von P. Piraster Borkh.?) bezeichnet. (Vergl. Ascherson und Gräbner, Synopsis, VI, 2, S. 62ff.)

Weit geringere Bedeutung besitzen die übrigen Kernobstarten. Die Quitten, die Früchte von Cydonia vulgaris Pers., sind auch im reifen Zustande hart und roh ungenießbar, dagegen in Zucker eingemacht, in verschiedener Zubereitung sehr geschätzt. Bei ihrem besonders großen Reichtum an Pektinkörpern geben sie feste und dauerhafte Gelees. Mehr lokale Bedeutung haben die Mispeln (Asperln), die Steinäpfel von Mespilus germanica L., die welschen Mispeln, Lazzeroli oder Azeroli von

Digitized by Google

Crataegus azarolus L., die Speierlinge, Spierlinge, Garteneberesehen, Arschützen, die pflaumengroßen Früchte von Sorbus domestica L. (Pirus domestica Sw.) und die Atlas-, Elts- oder Elsbeeren von Sorbus torminalis Cr. Diese sind nur im überreifen Zustande, in dem das Fruchtfleisch teigig-weich geworden ist, genießbar. Als japanische oder amerikanische Mispeln, griechisches Obst, spanische Birnen kommen die Früchte des japanischen Mispelbaumes, Eriobotria japonica Lindl. gegenwärtig auch bei uns vom April an auf den Markt. Sie werden im Küstenlande und in Italien kultiviert. Die eirunden, 3 bis 4 cm langen, 3,5 cm breiten Früchte sind glänzend orangegelb, weiß und braun punktiert, am Scheitel grauweißwollig und tragen häufig noch ein Stück des dicken wolligbehaarten Stengels.

Schließlich kann hierher noch eine bekannte Südfrucht, das Johannisbrot, Bockshörndl, die getrocknete Frucht von Ceratonia siliqua L. (Leguminosae — Caesalpinioideae — Cassieae) gerechnet werden. Sie ist eine nicht aufspringende, quergefächerte, lineale, flachgedrückte Hülse mit wulstig verdickten Rändern und einer lederartig-steifen, dunkelbraunen äußeren Fruchthaut. Zwischen dieser und den Samenfächern befindet sich ein süß schmeckendes, wegen des Gehaltes an Iso-Buttersäure wenig angenehm riechendes Fruchtfleisch. Der Gehalt an Zucker beträgt über 60%, an stickstoffhaltigen Körpern 4%. Im Süden ist es ein Nahrungsmittel (auch Pferdefuttermittel), dient auch zur Branntweinerzeugung und als Zusatz zu Brot.

3b) Steinobst. Hierher gehören alle Obstarten, die botanisch als Steinfrüchte oder Steinbeeren bezeichnet werden und deren Fruchtwand sich aus drei scharf differenzierten Gewebeschichten zusammensetzt. Die Oberhaut stellt die äußere Fruchtschicht oder das Exokarp dar, die zweite, Mittelschicht, Mesokarp, Sarkokarp genannt, bildet das „Fruchtfleisch", das meist sehr mächtig entwickelt, großzellig und saftreich ist. Die dritte Schicht wird als Innenschicht, Endokarp, bezeichnet und ist eine Steinschale oder ein Steinkern, aus einem Steinzellen-(Sklereiden-)Gewebe gebildet, das als eine mehr oder weniger harte Hülle den gewöhnlich weichen Samen umschließt.

Das ökonomisch wertvollste Steinobst sind die Zwetschen (Zwetschken), die bekannten Früchte von Prunus domestica L. Sie sind sowohl frisch als Tafelobst, als auch getrocknet (die feinsten Sorten werden geschält und heißen Prünellen und Pistolen) und eingedickt als Mus (Powidl), endlich als Rohstoff zur Darstellung des Sliwowitz in ausgedehnter Verwendung. In ähnlicher Weise dienen auch die Pflaumen, die Früchte des in vielen Formen kultivierten Kriechenbaumes, Prunus insititia L. Die feinsten Sorten heißen Reineclauden, andere Mirabellen, Kriechen, Spilling oder Spenling. — Eine besondere Gruppe bilden die Kirschen und Weichseln. Erstere sind die Früchte von Prunus avium L. und werden mit weichem Fleische als Herzkirschen (P. a. var. Juliana DC.) mit hartem Fleische als Knorpelkirschen (P. a. var. duracina DC.) bezeichnet. Durch Gärung des Saftes und Destillation erhält man den Kirschengeist, eine bekannte Spirituose. Weichseln oder Sauerkirschen, von Prunus Cerasus L., schmecken sauer oder süßlichsauer und besitzen entweder ein lichtes durchscheinendes Fruchtfleisch mit nichtfärbendem Saft (Glasweichseln, spanische Weichseln, Ammern, Amarellen, P. C. var. acida Ehrh.) oder ein dunkelrotes Fruchtfleisch mit färbendem Saft (Weichselkirschen, Morellen, Lotkirschen, Prunus austera Ehrh.). Die im südöstlichen Teile Oesterreichs angebaute Marascaweichsel, Prunus Marasca Rchb., liefert eigentümlich aromatisch schmeckende Früchte, aus denen der berühmte Likör Maraschino gewonnen wird.

Zu den feinsten Steinobstarten gehören Pfirsiche und Aprikosen. Die Pfirsiche, die Früchte von Prunus Persica Sieb. et Zucc. sind in bezug auf Gestalt und Größe sehr veränderlich. Die Oberfläche ist entweder samtartig-filzig oder seltener kahl (eine ostasiatische Kulturform, Nectarinen oder Brugnons genannt); ihr Fleisch ist teils weich und löst sich vom Kerne („Kerngeher"), teils bleibt es am Kerne haften und ist härter („Härtlinge"). Charakteristisch ist der rundlich-zusammengedrückte, auf einer Längskante gefurchte, auf der anderen gekielte, durch labyrinthartig gewundene Furchen gerunzelte und kleinlöcherig punktierte sehr harte Steinkern. Von den zahlreichen durch feinen Geruch ausgezeichneten Sorten seien die weißen Burdinen (Frühlingspfirsiche, Kerngeher), die Safranpfirsiche mit gelbem und die Blutpfirsiche mit rotem Fleische hervorgehoben. Die feinsten Edelpfirsiche liefert das südliche Frankreich. — Aprikosen oder Marillen, die kugeligen oder eirunden Früchte von Prunus Armeniaca L., sind rauh bis samtartig, bleichorangegelb, auf der Sonnenseite gerötet; das meist gelbe Fruchtfleisch ist saftig oder etwas mehlig. Der Steinkern ist eirund, seitlich zusammengedrückt, an einer Kante geflügelt-scharf und nur sehr seicht grubignetzig.

Zu der Untergruppe der Steinbeeren gehören die Oliven, die Kornelkirschen (Dirlitzen, Dirndln von Cornus mas L.), die Hollunderbeeren und die Früchte von Gaylussacia (s. nächsten Absatz).

3c) Beerenobst. In dieser Abteilung werden alle Obstarten vereinigt, die dem

botanischen Begriff „Beere“ entsprechen oder Sammel- oder Scheinfrüchte sind und ein beerenartiges Aussehen besitzen. Agrumen. Darunter versteht man die zu Genußzwecken brauchbaren Früchte verschiedener Citrus-Arten, insbesondere die Zitronen (Limonen) und Orangen. Was bei uns unter dem Namen „Limonen“ in den Handel kommt, ist sowohl die dünnschalige echte Limone oder Sauerzitrone von Citrus Limonum (Risso) Hook., als auch die echte Zitrone von Citrus medica var. genuina Engl., die sich von ersterer durch die dicke, grobhöckerig-warzig-runzelige Fruchtschale unterscheidet. Sie liefert bekanntlich das Cedratöl und in Zucker eingemacht das Zitronat (Succade). — Die Limone ist eine 10 bis 12-fächerige Beere mit dünner, hochgelber, an ätherischem Oele reicher, äußerer Fruchthaut, weißer, schwammiger, trockener, geruch- und geschmackloser Mittelschicht und häutiger Innenschicht. Diese Innenschicht kleidet die einzelnen Fächer in Gestalt dünner Scheidewände aus, und entsendet in das Innere der Fächer sehr saftreiche Ausstülpungen, die die Fächer ausfüllen und je zwei oder drei verkehrt eiförmige, nur aus Schale und Keim bestehende, schleimig und bitter schmeckende Samen enthalten. Der saftreiche, sehr sauer schmeckende Fruchtbrei enthält bei 8% Zitronensäure neben Gummi, Zucker, Eiweißstoffen usw. Die Limonen bilden das Ausgangsmaterial zur Bereitung des Zitronensaftes. Sie kommen am meisten von Sizilien, vom Gardasee und Spanien. Zitronensaft wird auch aus Amerika in größeren Mengen zu uns gebracht. — Die süße Zitrone, Limette, von Citrus Limetta Risso, und die Perette, von Citrus Peretta Risso liefern feine Konfitüren, erstere im Orient den Serbet (Scherbet, Sorbet), der übrigens auch aus anderen Fruchtsäften hergestellt wird. — Orangen, Pomeranzen, Apfelsinen, von Citrus sinensis Gallesio (eine Unterart von Citrus Aurantium L.) sind kugelig, von verschiedener Größe, süßsäuerlich oder süß und besitzen einen gelben oder blutroten Fruchtbrei (Blutorangen). Der Zuckergehalt schwankt zwischen 4 und 10%. In der äußeren Fruchtschicht aller Agrumen sind in kleinen, schon mit freiem Auge sichtbaren Sekretbehältern die ätherischen Oele enthalten, denen diese Früchte ihren angenehmen Geruch verdanken. Die Schalen sind daher der Rohstoff zur Darstellung der verschiedenen ätherischen Oele, die in der Likörindustrie und in der Parfümerie ausgebreitete Verwendung erfahren. Die in Scheiben zerschnittenen und in Zucker eingemachten Orangenschalen heißen Arancini. — Die Mandarinen, von Citrus nobilis Lour., kleine Orangen von 5 bis 6 cm im Durchmesser, niedergedrückt-kugelig, dunkelorangefarben, sind durch einen besonderen, an feines Terpentin erinnernden Geruch ausgezeichnet. Die meisten Orangen kommen von den Mittelmeerländern; große Kulturen besitzen Südafrika und das tropische Amerika. Die bei uns jetzt als „grape fruit“ angebotenen, fast kindskopfgroßen Früchte sind Orangensorten der sog. Pompelmusgruppe, Citrus decumana L.

Die zur Familie der Ebenaceae gehörige Gattung Diospyros enthält zwei Arten, die in Ostasien (Japan, China) einheimisch sind, in den europäischen Mittelmeerländern kultiviert werden und ein feines Obst liefern. Von Diospyros Kaki L. fil. stammen die Kakifrüchte (Kakifeigen, chinesische Quitten, Persimon oder Ranguemine, Fig. 1), kugelige bis eirundliche, 4 bis 10 cm im Durchmesser haltende, 4 bis 16 fächerige, orangeähnliche Beeren mit gelber Fruchthaut und saftigem Fruchtfleisch; jedes Fach enthält einen Samen. Oft sind die Früchte kernlos und ohne deutlich entwickelte Fächer. — Diospyros Lotus L., noch in Südtirol kultiviert, liefert die Dattelpflaumen,

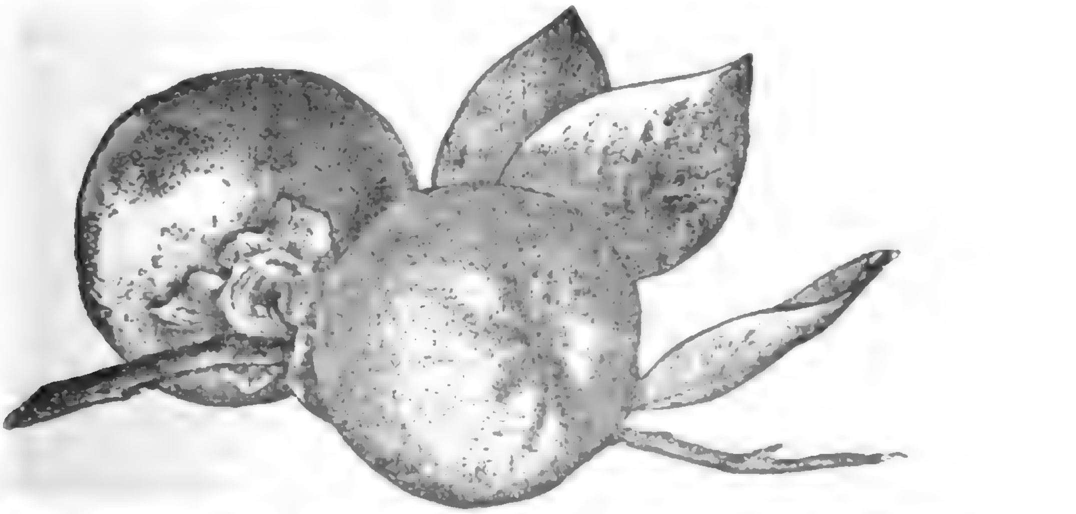


Fig. 1. Kakifrucht von Diospyros Kaki var. Tiodemon. Nach Sehrwald.

Digitized by Google

kirschenähnliche Beeren mit anfänglich bläulich-schwarzer, zuletzt gelbbrauner Oberfläche und sehr süßem Fleische. Sie dienen auch zur Sirup- und Branntweinerzeugung.

Die indischen Feigen, Kaktus- oder Opuntienfeigen sind die Früchte von Opuntia ficus indica Mill. und werden gegenwärtig in allen wärmeren Ländern kultiviert; sie sind feigen- oder birnenähnliche, einfächerige, samenreiche Beeren bis zur Größe eines Gänseeies, mit weißer, roter oder gelber Oberfläche, auf der mit Büscheln feiner Widerhakenstacheln (Glochiden) besetzte Warzen ziemlich regelmäßig verteilt sind. Sie schmecken angenehm süß und erfrischend, doch soll übermäßiger Genuß choleraähnliche Zustände erzeugen.

Sowohl als frisches Obst, als auch in verschiedenen Zubereitungen (meist in Zucker eingekocht und als Marmelade) finden Verwendung: die roten Johannisbeeren (Ribisl, von Ribes rubrum L.), die schwarzen Johannisbeeren von Ribes nigrum L. (haben einen wanzenartigen Geruch, dienen aber trotzdem zu Marmeladen und als Zustaz zu Likören), die Stachelbeeren (Grossel-, Graselbeeren, Agras, von Ribes Grossularia L.), die Heidel-, Blau oder Schwarzbeeren von Vaccinium Myrtillus L., die Preiselbeeren von Vaccinium vitis Idaea L., die Moor- oder Moosbeeren von Vaccinium uliginosum L. (gelten als giftig), die echten (roten) Moosbeeren von Vaccinium oxycoccos L. (auf Torfmooren, dienen zur Verfälschung der Preiselbeeren, von denen sie sich durch die viel größeren Samen, die bis 3 mm lang sind, unterscheiden; die Samen der letzteren messen nur 0,3 bis 1,2 mm). Für Nordamerika ist bemerkenswert die großfrüchtige Preiselbeere mit bis 15 mm großen Früchten, von Vaccinium macrocarpum Ait., für Kolumbien die unseren Preiselbeeren in der Verwendung entsprechende Mortiña von Vaccinium Mortinia Benth. Die Hucklebeere von der nordamerikanischen Ericacee Gaylussacia resinosa Torr. et Gray, den Heidelbeeren ähnlich, ist eine 10fächerige Steinbeere.

Die Ananaskirschen (Erdbeertomaten, Bossins, Strawberry tomato) sind die Früchte der jetzt in allen wärmeren Ländern kultivierten Solanacee Physalis Peruviana L. Sie sind von einem viel größeren, aufgeblasenen, an der Mündung vollständig zusammengezogenen Fruchtkelch umhüllt, der an der Marktware entfernt ist. Die Beeren sind kugelig, von Pflaumengröße, grün bis hellgelb, auf einer Seite violett gefleckt, etwas klebrig, saftig-fleischig, 2fächerig und vielsamig. Sie riechen ananasartig und werden hauptsächlich in Zucker eingemacht als Konfekt genossen. Hier und da findet auch unsere einheimische Judenkirsche, von Physalis Alkekengi L., ähnliche Verwendung.

Das wertvollste Beerenobst stellen die Weinbeeren vor. Hierher gehören die Weintrauben, Malagatrauben, Rosinen, Zibeben und Korinthen, die frischen oder getrockneten reifen Früchte der in mehreren hundert Spielarten kultivierten Rebe, Vitis vinifera L. (Familie Vitaceae) und der amerikanischen Rebenarten. Sie sind erbsen- bis fast pflaumengroß, kugelig bis länglich, besitzen eine derbe, glatte, kahle, bereifte Außenhaut von grüner, gelber, rötlicher, roter, blauer bis blauschwarzer Farbe; es gibt auch gesprenkelte und gestreifte Sorten. In dem sehr saftigen Fruchtfleisch sind 1 bis 5 Samen eingebettet, einzelne Sorten (Korinthen, Sultaninen) sind samenlos. Der Saft ist farblos, nur bei der Färbertraube (Tintore) rot gefärbt. Die als Tafelobst dienenden Trauben gehören meist den Sorten Gutedel, blaue Portugieser, blaue Burgunder, blaue Trollinger usw. an. Ein besonderes Aroma besitzen die Muskateller („schmeckende", „riechende" Trauben) und amerikanische Sorten (Foxégeschmack). Südfrankreich, Algier, Süditalien, Spanien und Südtirol liefern ausgezeichnete Tafeltrauben. Die weitaus größte Menge der frischen Trauben dient als Kelter- oder Preßtrauben zur Weinbereitung. Von den getrockneten Weintrauben unterscheidet man: 1. Kleine Rosinen, Korinthen, „Weinbeerln", die kernlosen Früchte einer in Griechenland und auf den jonischen Inseln gebauten Spielart der Rebe, Vitis vinifera var. apyrena Risso. Sie sind den Heidelbeeren ähnlich, braunrot bis schwarzbraun. 2. Große Rosinen und zwar a) Sultaninen, Smyrna- oder Sultaniarosinen, lichtgelb, durchscheinend, sehr süß, kernlos. Sie unterliegen einem besonderen Konservierungsprozeß, die feinste Auslese heißt Elemé. b) Spanische Rosinen, oder Malagatrauben, als Muskat-, Blumen- oder Sonnenrosinen an der Sonne einfach getrocknet, als Lexias- oder Loxiarosinen (wie die Sultaninen) in Pottaschenlauge mit Kochsalz und Baumöl eingelegt und nach dem Herausnehmen auf Strohmatten getrocknet. Sie kommen noch mit den Stielen zum Verkauf. c) Zibeben (Rosinen mit Kern), plattgedrückt, braun oder schwarz, durch den austretenden Zuckersaft oft zusammenklebend (Pickzibeben), mitunter geschwefelt, müssen vor dem Gebrauch gut gewaschen werden.

Die folgenden Obstarten sind entweder Sammelfrüchte oder Scheinfrüchte verschiedener Art. Himbeeren, die reifen Sammelfrüchte von Rubus idaeus L. (Rosaceae-Potentilleae), aus zahlreichen saftigen Steinfrüchtchen zusammengesetzt, enthalten Zitronensäure und etwa 4,5% Zucker. Ihre Verwendung zu Himbeersaft ist sehr ausgebreitet. Weit weniger geschätzt sind die glänzend-braunschwarzen und geruchlosen Brombeeren, von Rubus fruticosus L. — Erdbeeren, die reifen frischen Scheinfrüchte mit fleischig gewordenem Fruchtträger mehre-

Digitized by Google

rer Arten der Gattung Fragaria (Rosaceae) und zwar Fragaria vesca L., Walderdbeere, F. elatior Ehrh., hohe oder Zimterdbeere, F. collina Ehrh., Knackerdbeere, sowie mehrerer ausländischer, bei uns kultivierter Arten. Bei den erstgenannten Arten führt der weiche, saftige und rote Fruchtträger oberflächlich zahlreiche sehr kleine, bräunliche trockene Schließfrüchtchen (Nüßchen). Die sogenanten Ananaserdbeeren von Fragaria grandiflora Ehrh. sind aus Kreuzungen der amerikanischen Arten Fragaria virginiana Ehrh. und F. chiloensis Ehrh. entstanden und durch die in Gruben des Fruchtträgers eingesenkten Früchtchen, durch die bedeutende Größe (bis 6 cm) und den kräftigen Geruch nach Ananas gekennzeichnet. — Nur lokale Bedeutung haben die schwarzen Maulbeeren, die Scheinfrüchte (Fruchtstände) von Morus nigra L., die 9% Zucker enthalten und hauptsächlich zu Marmeladen Verwendung finden. — Hingegen ist die Ananas, die Scheinfrucht (Fruchtstand) von Ananas sativus Lindl. (Bromeliaceae-Bromelieae) eine viel verwendete und ziemlich kostspielige Obstart. Sie ist dem Pinienzapfen ähnlich, bis 4 kg schwer und stellt einen außen großwarzigen, goldgelben, innen weißen oder gelblichen, saftigen, von einem Blätterschopfe gekrönten Fruchtstand dar, der aus den verwachsenen Beerenfrüchten, Deckblättern und der fleischigen (durchwachsenden) Achse zusammengesetzt ist. Von den zahlreichen Sorten werden die kleinen, eirundlichen als Königin- oder Reinetten-Ananas, die kegelförmigen gelbfleischigen als Zuckerhut-(Cayenne-)Ananas, die großen pyramidenförmigen als Königsananas bezeichnet. Die aus den Tropen importierten Früchte sind nicht vollreif und müssen einer Nachreife unterliegen. Sie kommen während des ganzen Jahres bei uns auf den Markt.

Bananen, Pisang oder Paradiesfeigen, die Beerenfrüchte der kultivierten Spielarten von Musa sapientum L. Die unklare systematische und nomenklatorische Frage haben Ascherson und Graebner in der Synopsis der mitteleuropäischen Flora III, 589 folgendermaßen beantwortet: Die gute Spezies heißt Musa paradisiaca L., sie zerfällt in viele Formen, von denen zwei Rassen besonders bemerkenswert sind: Musa paradisiaca Subspec. normalis O. Kuntze; Früchte zylindrisch, bis 3 dm lang, nicht sehr süß, samenlos, werden nur unreif gekocht genossen; Musa paradisiaca Subspec. sapientum O. Kuntze; Früchte dreikantig-ellipsoidisch, bis 12 cm lang, gelb, süß, samenlos, in zahleichen Abarten in den Tropen gebaut. Nach Warburg kann man sie nach ihrer Hauptverwendung in Mehl- und Obstbananen unterscheiden. Die in unserem Handel vorkommenden Bananen sind bis 20 cm lang, über 3 cm dick, flachbogig gekrümmt, meist stumpf vier- bis fünfkantig, im unreifen Zustande grün, reif werden sie gelb und schließlich fast schwarz. Reife enthalten bei 20% Zucker, 5% Stickstoffsubstanzen und invertierende Fermente, wie Invertase. Sie kommen zu uns über Marseille und Hamburg, teils aus Afrika, teils aus dem tropischen Amerika in Form ganzer Fruchtstände. Nach der Farbe unterscheidet man gelbe, rote, Silber- und Kupferbananen, nach der Größe Wasser-, Riesenbananen, Ladiesfinger (die feinsten), nach dem Aroma Ananas- und Zimtbananen. — Datteln, das wertvolle Nahrungsmittel der nordafrikanischen und arabischen Wüstenvölker, sind auch bei uns eine sehr geschätzte Südfrucht. Sie sind die getrockneten beerenartigen Früchte der seit den ältesten Zeiten bei allen orientalischen Völkern hochgefeierten Dattelpalme, Phoenix dactylifera L. (Palmae-Phoeniceae), die in zahlreichen Formen kultiviert wird. Zu uns kommen die Alexandriner Datteln (6 bis 8 cm lang, braunrot, hart, süß) die berberischen und die Königsdatteln. In der klebrigen, sehr zuckerreichen Mittelschicht sind eigentümliche, braunrote, in Wasser unlösliche Körper, sogenannte Inklusen enthalten, die von Tschirch als ein Phloroglukotannid angesprochen werden. — Eine volkswirtschaftlich nicht unbedeutende Rolle spielen die Feigen, die Scheinfrüchte des in den Mittelmeerländern in zahlreichen Spielarten kultivierten echten Feigenbaumes, Ficus Carica L. (Moraceae-Ficeae). Die Feige ist der birnförmige ausgehöhlte, fleischige Blütenboden, in dessen Höhlung sehr zahlreiche gelbe Steinfrüchtchen enthalten sind. Frische Feigen sind grün, bräunlich, violett bis blauschwarz, die getrockneten eingeschrumpft, grobrunzelig, im allgemeinen graugelblich. Ihr Gehalt an Traubenzucker beträgt 50%. Um sie besser haltbar zu machen, werden sie mitunter „etuviert", d. h. in getrocknetem Zustande in eine warme Zuckerlösung eingetaucht und hierauf noch einmal getrocknet. Die bekanntesten Sorten sind: 1. Kleinasiatische, türkische oder Smyrnafeigen, gelblich, dünnhäutig, mit Honiggeschmack („Loucoumfeigen" die feinste Sorte). 2. Griechische Feigen, die Kranzfeigen. 3. Italienische, Dalmatiner, französische, spanische Feigen usw. Die sogenannten „Strohfeigen" sind in der Entwickelung zurückgebliebene Blütenstände, bei denen es zu keiner Umwandlung des inneren Gewebes zu einer zuckerreichen saftigen Masse kommt. Außer als Obst werden die Feigen in bedeutenden Mengen als Kaffeesurrogat verwendet.

Schließlich sind noch die Hagebutten

Digitized by Google

(„Hetschepetsch“), die Scheinfrüchte (Blütenachsen) verschiedener wilder Rosensträucher hier anzuführen. Sie werden von den Innenhaaren und von den Früchtchen befreit und mit Zucker eingekocht.

3d) Schalenobst. Diese Gruppe umfaßt Steinkerne (von Steinfrüchten), echte Nüsse und auch nur die freien Samen.

Walnüsse, welsche Nüsse, Nüsse schlechtweg, sind die Steinkerne der Früchte des Walnußbaumes, Juglans regia L. (Juglandaceae). Die beiden miteinander fest verwachsenen, hell- bis dunkelbraunen Schalenklappen umschließen den nur aus dem Keim bestehenden sehr fettreichen Samen. Der Gehalt an Fett beträgt über 60%, an Eiweißstoffen 15%. Unreife grüne Früchte werden in Zucker eingekocht als Kompott verwendet. Nach der Größe und nach der Beschaffenheit der Schale unterscheidet man die gewöhnlichen oder eigentlichen Walnüsse, wozu die durch ihre Größe und Gleichförmigkeit, durch helle Farbe und besonderen Wohlgeschmack ausgezeichneten Grenobler Nüsse gehören, ferner die doppelt so großen Pferdenüsse mit tiefgrubiger, höckeriger, leichtzerbrechlicher Steinschale. Frankreich, Serbien und Rumänien sind Exportländer dieses Obstes. Die in Amerika in Verwendung stehenden Hikorynüsse stammen von Caryaarten (Juglandaceae) ab und besitzen eine vierteilige Steinschale. Die Olivennüsse von Carya olivaeformis Nutt. kommen auch in unserem Handel vor. — Haselnüsse, die reifen, trockenen, von der krautigen Fruchthülle (Becher) befreiten Schließfrüchte mehrerer Arten von Corylus (Betulaceae). Die gewöhnlichen Haselnüsse mit dicker Schale, brauner Samenhaut und kleinem Schilde (Anheftungsstelle der Fruchthülle) stammen von Corylus Avellana L., die großen Sorten, als Zeller-, Langbart-, Lamberts- oder Lombardnüsse bekannt, sind die Früchte von Corylus tubulosa Willd. (C. maxima Mill.); sie sind viel länger als breit, besitzen einen großen Schild und eine rote Samenhaut. Diese kommen besonders von Spanien, Sizilien und Südfrankreich auf den Markt. Der Baumhasel, Corylus Colurna L., liefert die echte türkische Haselnuß; diese ist breiter als lang, oft plattgedrückt und an dem großen Schild stark emporgewölbt. Der ölig-hartfleischige Same (aller Arten) enthält bis 66% Fett und wird auch ohne Schale („Haselnußkerne“) verkauft. Außer den genannten Ländern liefern noch Griechenland und Türkei Haselnüsse für den Export.

Kastanien, Maronen, Marroni, Kösten, die reifen Früchte von Castanea sativa Mill. (Castanea vulgaris Lam., Fagaceae), bilden in den Mittelmeerländern ein wertvolles Volksnahrungsmittel und dienen auch als Schweinemast. Die unregelmäßig breit-eiförmige, auf einer Seite gewölbte, auf der anderen abgeplattete Frucht mit brauner und spröder Fruchtschale enthält einen einzigen Samen, der aus zwei hartfleischigen, häufig miteinander verschmolzenen, stärkemehlreichen Keimblättern und einem zylindrischen, gelblichen Würzelchen besteht. Die großen „Maronen“ stammen von den veredelten, die kleinen „Waldkastanien“ von den wilden Bäumen. Der süßmehlige und leicht gewürzhafte Geschmack tritt erst nach dem Rösten oder Kochen auf; im Süden wird auch ein Mehlbrei (chatigna, pagniotta) aus Kastanien bereitet. — Die Früchte der in Ostasien einheimischen und in Westindien kultivierten Sapindacee Litschi chinensis Sonn. kommen zu uns unter dem Namen Litschipflaumen, chinesische oder japanische Haselnuß (Fig. 2.), sind taubeneigroß

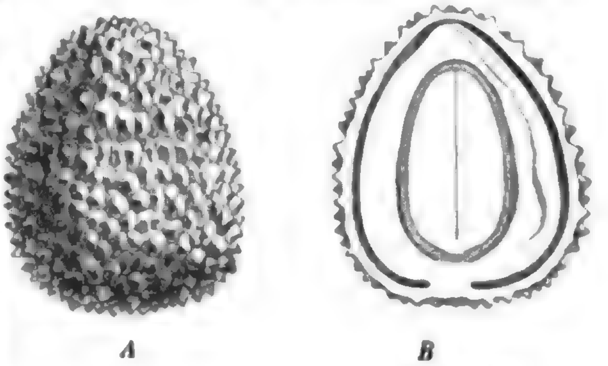


Fig. 2. Litchi chinensis Sonn. A Frucht von außen; B im Längsschnitt (1/1); C Samen mit Samenmantel. Nach Baillon.

und besitzen eine rubinrote bis rotbraune trockene zerbrechliche Fruchtschale, die aus zahlreichen, 5 bis 6seitigen, in kurze Pyramiden auslaufenden Schildern zusammengesetzt ist. Genießbar ist nur der durchscheinend weiße, saftige geleeartige Samenmantel, der den einzigen braunen Samen dicht umschließt. Der Samenmantel ist außerordentlich süß und sehr wohlriechend. Litschipflaumen und die nächst verwandten Obstarten, Rambutan von Nephelium lappaceum L. (Fruchtschale dicht weichstachelig) und Longane, Long-yen oder Linkeng, d. h. Drachenauge (nach dem dunklen Samen, der aus dem lichten Gelee hervorschimmert) sind Lieblingsfrüchte der Chinesen.

Paranüsse, Yuvia-, Brasil-, Tucanüsse,

Digitized by Google

Amazonenmandeln, brasilianische Kastanien sind die Samen der in Südamerika verbreiteten Yuviabäume, **Bertholletia excelsa Humb. et Bpl.** und **B. nobilis Miers** (Lecythidaceae), ausgezeichnet durch die scharf dreikantige, einem Kugelausschnitt gleichende Gestalt und durch die graubraune, querrunzelige, sehr harte Samenschale. Der ölgfleischige Samenkern besteht nur aus dem durchaus gleichförmigen Keim und schmeckt walnußartig. — **Mandeln** werden bekanntlich in **süße** und **bittere Mandeln** unterschieden, erstere sind die Samen von **Prunus communis Arcang. var. dulcis DC.**, die bitteren von **Prunus communis Arcang. var. amara DC.** (**Rosaceae-Prunoideae**). Die zimtbraune schilferig-rauhe Samenhaut umschließt den aus zwei großen, plankonvexen, ölig-fleischigen Keimblättern bestehenden Samenkern Süße Mandeln enthalten 45 bis 55% fettes Oel, über 24% Stickstoffsubstanzen, letztere auch in Form von Aleuronkörnern mit verschiedenen Einschlüssen. In bitteren Mandeln, deren Gehalt an Fett bis 20% herabsinken kann, findet sich das Glykosid **Amygdalin** und das Enzym **Emulsin** vor; werden beide mit Wasser zusammengebracht, so wird ersteres in Traubenzucker, Bittermandelöl und freie Blausäure gespalten. Die Verwendung der Mandeln ist eine sehr vielfältige; Krach- oder Prinzeßmandeln (P. c. var. **fragilis C. K. Schneider**, mit dünner, zerbrechlicher Steinschale) und die schmalen, glatten Jordan-oder Malagamandeln sind als Obst beliebt; große Mengen dienen zur Herstellung des Mandelöles, die Preßkuchen bilden die in der Kosmetik geschätzte Mandelkleie. Bittere Mandeln dürfen, da sie sehr giftig sind, nur in geringer Menge, nach Art eines Gewürzes verwendet werden, um gewissen Speisen Geruch und Geschmack des Bittermandelöles zu erteilen. Von den zahlreichen Sorten sind die spanischen, südfranzösischen und italienischen die geschätztesten; viel liefern auch die Levante und Griechenland.

Pistazien oder grüne Mandeln, die reifen Samen des im Mittelmeergebiete kultivierten Pistazienbaumes **Pistacia vera L.** (Anacardiaceae-Rhoideae), sind länglich, gerundet, 3 bis 4 kantig, auf der gewölbten Rückenfläche scharfgekielt, dunkelkarmin- bis braunrot, an der Bauchseite grünlich, bis zwei cm lang. Die dünne Samenhaut umschließt zwei schöngrüne, öligfleischige, plan-konvexe Keimblätter mit dem gelblichen Würzelchen. Die Pistazien schmecken angenehm mandelartig und werden als Zutat zu Backwerk und Würsten verwendet. Alt geworden verlieren sie die grüne Farbe und werden ranzig. — **Erdnüsse**, Erdeicheln, Arachiden, Maninüsse, Mandubinüsse, Aschantinüsse, die Samen von Arachis hypogaea L. (Leguminosae — Papilionatae — Stylosanthinae, Fig. 3), kommen im Handel nur in den walzigen, höckerigen, in der Mitte eingeschnürten, hellbräunlichen, nicht aufspringenden Hülsen vor. Die eirunden bis länglich-walzigrunden Samen besitzen eine braune leicht

Fig. 3. **Arachis hypogaea L.** Habitusbild. Rechts oben eine einzelne Frucht, rechts unten eine solche im Längsschnitt, um die Samen nebst dem Keim (im oberen Samen) zu zeigen. Nach **Sadebeck**.

Digitized by Google

ablösbare Samenhaut und einen aus zwei ölig-fleischigen Keimblättern bestehenden Kern. Sie werden frisch oder leicht geröstet genossen, als Surrogat für Haselnüsse und bilden einen sehr wichtigen Rohstoff für Oelgewinnnng. Das wichtigste Kultur- und Exportland ist Westafrika. — Schließlich sollen noch die Piniolen oder Pineolen erwähnt werden, die die von der steinschalenartigen, dicken Samenschale und der braunen inneren Samenhaut befreiten Samenkerne der Pinie, Pinus Pinea L. (Coniferae-Pinaceae) darstellen und hauptsächlich von Südtirol und Italien in den Handel kommen. Sie sind bis 1,5 cm lang, länglich-spindelig, frisch weiß, später gelblichweiß werdend, fettglänzend und weich. Sie bestehen aus einem Nährgewebe, das den keulenförmigen, aus einem Würzelchen und 12 fadenförmigen Keimblättern bestehenden Keim einschließt. Sie schmecken mandelartig und dienen als Zutat zu Fruchtbrot u. dgl.

3e) Tropenobst. Die Tropen erzeugen eine große Anzahl wertvoller Obstarten, von denen schon mehrere auch in Europa Verwendung gefunden haben, wie die Litschipflaumen, Bananen, Paranüsse usw. Von dem Tropenobst kann man solche Arten unterscheiden, die nur in einem bestimmten Gebiet gewonnen und gebraucht werden, also gewissermaßen nur eine lokale Bedeutung besitzen; andere sind dagegen im ganzen Tropengürtel verbreitet, greifen auch häufig noch auf die subtropischen Gebiete über und sind daher Tropen-Kosmopoliten geworden. Im folgenden werden nur einige, durch große Verbreitung oder durch besondere Eigenschaften ausgezeichnete Obstarten angeführt.

Abacate, Avocato, Avogatbirne, Alligatorpear, die Steinfrucht von Persea gratissima Gärtn. (Lauraceae, trop. Amerika, Fig. 4) gleicht einer großen, bis 12 cm langen Birne mit süßem Fruchtfleisch und einem,

Fig. 4. Persea gratissima Gärtn. B Zweig mit der birnförmigen Frucht. Längsschnitt durch die Frucht. Etwa ½ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

von hartem Endokarp eingeschlossenen Samen; wird schon in den Mittelmeerländern kultiviert. — Aki, Akee, vegetable marrow, Riz de veau végétal, von Blighia sapida Koen. (Spaindaceae, in allen Tropen, besonders in Venezuela kultiviert), ist eine dreifächerige Kapsel mit Samen von Mandelgröße, die von einem weißen saftigen Samenträger zur Hälfte umgeben sind. Dieser schmeckt sehr angenehm und bildet eine die Eierspeise vertretende Nahrung. — Anona-Früchte, (Anonaceae, tropisches Amerika). Am meisten verbreitet sind: Zuckerapfel von Anona squamosa L. (eiförmig, bis 7 cm lang, oberflächlich schuppig, Fig. 5);

Fig. 5. Anona squamosa L. Zweig mit reifen, schuppigen Früchten, ½ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

Zimtapfel von Anona cherimolia Mill. (faustgroß, süßsäuerlich, gebuckelt); Stachel- oder Sauerapfel von Anona muricata L. (säuerlichsüß und erfrischend, stachelig, Fig. 6). Dazu noch der Schleimapfel von der verwandten Aberemoa (Duquetia) Marcgrafiana Aubl. Die Blüte enthält zahlreiche oberständige Karpelle, die untereinander verwachsen und eine vielfächerige, Frucht, eine zusammengesetzte Beere bilden. Jede Schuppe, jeder Buckel oder Stachel entspricht einer Einzelfrucht, alle zusammen umgeben den kegelförmig vorragenden Fruchtboden. — Baummelone, Papayafrucht, Mammao (wegen der Aehnlichkeit mit einer Frauenbrust) von Carica Papaya L. (Caricaceae, in allen Tropen gebaut, Fig. 7), eine vielsamige Beere von Melonengröße, mit butterartigem oder mehligem, rotgelbem, wohl-

Digitized by Google

schmeckendem Fruchtfleisch. Die mittengelegene Höhlung trägt an ihrer Wand die

Fig. 6. Anona muricata L. Zweig mit den etwas stacheligen Früchten. $^1/_2$ natürliche Größe. Nach Sadebeck.

nen Blütenhüllen zu einem die Schließfrüchte einschließenden Synkarp vereinigt.

Fig. 8. Artocarpus incisa Forst., Brotfruchtbaum. Beblätterter Zweig mit einem männlichen (kätzchenartigen, keulenförmigen) Blütenstande, zwei eirunden weiblichen Blütenständen und einem der Länge nach durchschnittenen, noch nicht ganz reifen Fruchtstande. Nach Sadebeck.

Samen. Alle Teile des Melonenbaumes führen einen Milchsaft, der ein pepsinartiges Ferment (Papain) enthält und Fleisch und andere Eiweißkörper zu lösen vermag. — Breiapfel, Sapoti, Sapotillpflaume, von Achras sapota L. (Sapotaceae, Antillen), eine eiförmige 4 cm lange, 5 cm breite Beere mit 8 bis 12 Samen, enthält ein gelbrötliches oder grünes, sehr süß und angenehm schmeckendes Fruchtfleisch. — Brotfrucht von Artocarpus incisa Forst. (Moraceae, Sunda-Inseln und Polynesien, Fig. 8), ist eine kopfgroße Scheinfrucht, dadurch entstanden, daß das Rezeptakulum, auf dem die Fruchtblüten stehen, fleischig wird und sich mit den ebenfalls fleischig geworde-

Fig. 7. Carica Papaya L. Oberer Teil eines Baumes mit Blüten und Früchten. Nach Sadebeck.

Digitized by Google

Die samenlose Form wird als echte, gute Brotfrucht bezeichnet. Auch Artocarpus integrifolia Forst., der Jack-Brotfruchtbaum in Ostindien, wird kultiviert und liefert bis 15 kg schwere Früchte. 2 bis 3 Brotfruchtbäume genügen für das ganze Jahr zur Ernährung eines Menschen. — Durione, Stinkfrucht, von Durio zibethinus L. (Bombacaceae, in Südasien einheimisch, in vielen Tropenländern gebaut, Fig. 9), melonen- und kürbisgroße, mit Stacheln bedeckte, fünfklappige Kapsel mit 2 bis 5 Samen in jedem Fache. Die Samen sind in einen weichen, saftigen Samenmantel eingehüllt, der einen sehr üblen Geruch nach Schwefelwasserstoff (nach faulem Fleisch) entwickelt. Von Eingeborenen und vielen Europäern als köstliche Frucht gepriesen. — Guave von Psidium Guava L. (Myrtaceae, in allen Tropen gebaut, Fig. 10), birn- oder apfelförmige Beeren von Hühnereigröße mit zahlreichen, kantigen, hellen Samen und mit weißem oder rötlichem, etwas säuerlichem Fruchtfleisch,

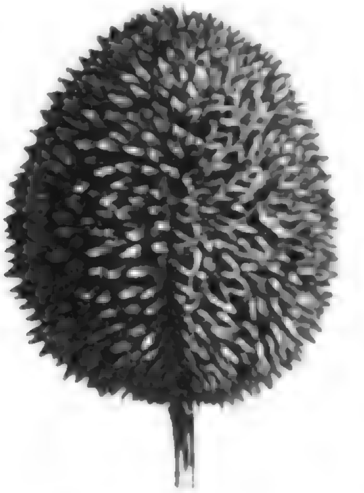


Fig. 9. Durio zibethinus L. Reife geschlossene Frucht mit den starken Stacheln. ½ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

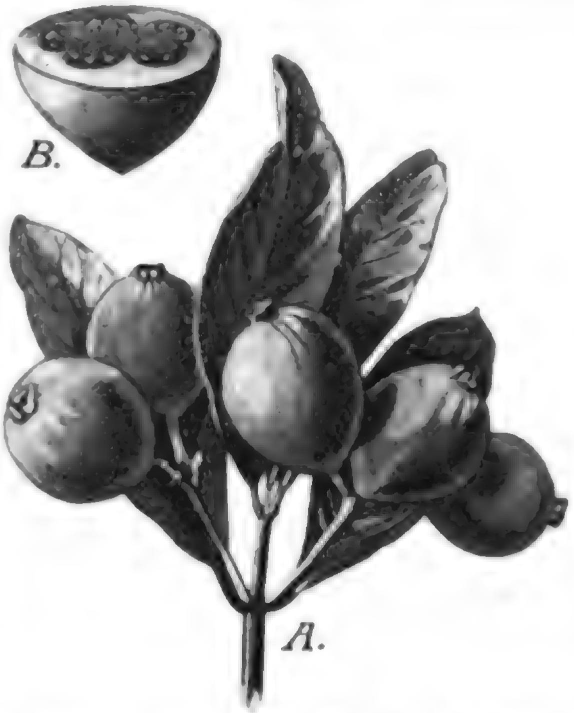


Fig. 10. Psidium Guajava L. A Zweig mit reifen Früchten, B reife Frucht durchschnitten. A ½, B ⅔ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

das meist zu Kompott und Gelee verwendet wird. — Hovenia-Obst. Die in Japan, Korea, Nordchina wachsende Hovenia dulcis Thunbg. (Rhamnaceae, Fig. 11) trägt ver-

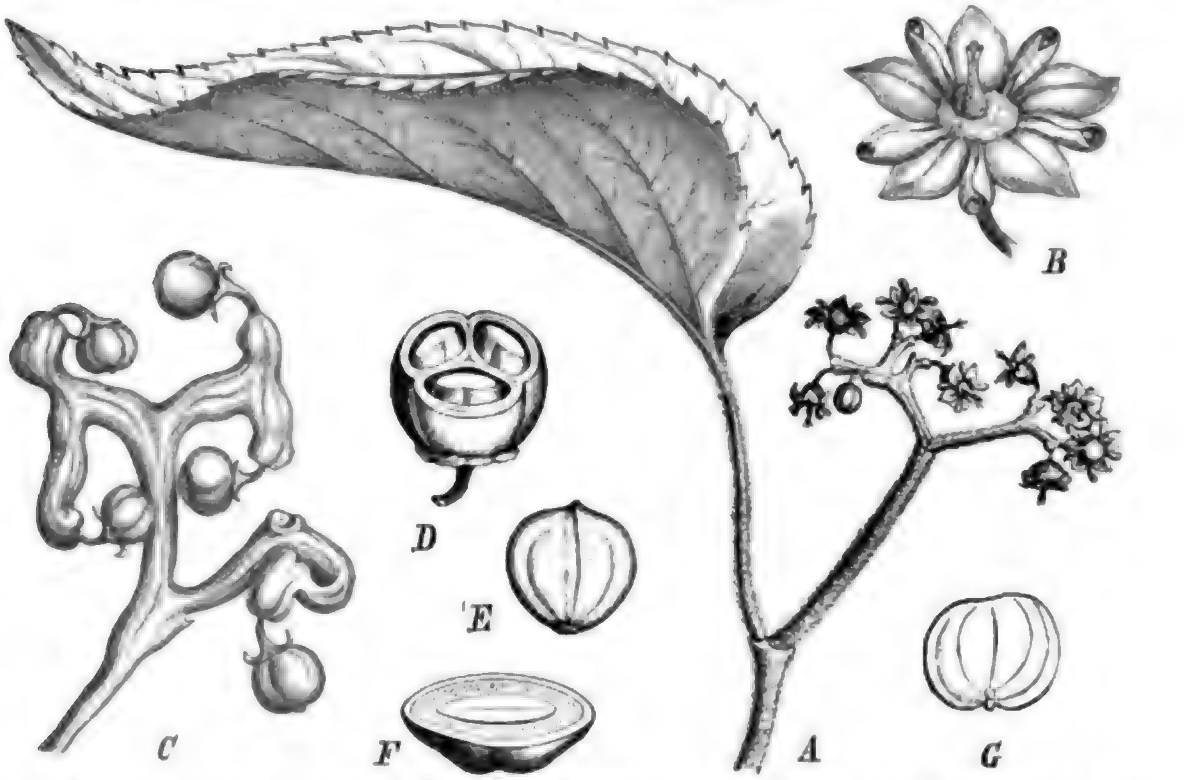


Fig. 11. Hovenia dulcis Thunb. A blühender Zweig; B einzelne Blüte; C Fruchtstand; D Frucht im Querschnitt; E Same; F Same im Querschnitt; G Embryo nach Entfernung des einen Keimblattes. Nach Weberbauer.

Digitized by Google

zweigte Fruchtstandachsen, die fleischig werden, wie hin und her gekrümmte Würmer aussehen, süß wie Johannisbrot schmecken und in den genannten Ländern ein beliebtes Obst darstellen. Die dreifächerigen, erbsengroßen Früchte sitzen an den Enden der fleischigen Teile. — Icacopflaumen, Cocoaplum, von Chrysobalanus Icaco L. (Rosaceae, Antillen, Südamerika), sind pflaumengroße, eiförmige, gelbe, rote oder schwarze Früchte mit einem fünfseitigen Steinkern. Sie schmecken süß und zugleich herbe und werden zumeist zu Kompott verwendet. — Kaschu-Apfel, von Anacardium occidentale L. (Anacardiaceae, tropisches Amerika, Fig. 12) ist der Fruchtstiel, der bei der Reife

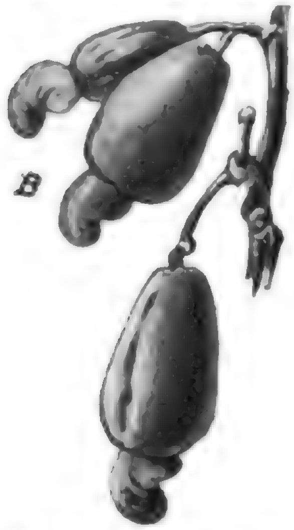


Fig. 12. Anacardium occidentale L. B Zweig mit den nierenförmigen Früchten, die in einer seichten Grube des birnförmig angeschwollenen Fruchtstieles (Kaschu-Apfel) sitzen. ½ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

zur Größe und Gestalt einer Birne anschwillt und ein sehr saftreiches, süßsauer schmeckendes Fleisch enthält, das dem Europäer nicht sonderlich mundet. Man bereitet aus dem Safte auch ein berauschendes Getränk. Die in einer seichten Grube des Fruchtstiels sitzende nierenförmige Frucht (Elephantenläuse, Acajou-Nüsse) enthält in der Fruchtschale das scharf ätzende Cardol; der einzige Same ist genießbar und hat einen haselnußartigen Geschmack. — Mammeiapfel, Aprikose von San Domingo, die Frucht von Mammea americana L. (Guttiferae, Antillen), hat die Größe einer Orange, ist kugel- bis eirund, außen rötlich. Unter der harzreichen Schale befindet sich ein goldgelbes, butterweiches Fruchtfleisch, der süß und aromatisch schmeckende Saft wird zu einer Art Wein vergoren. — Mangostane, Mangofrüchte von Garcinia Mangostana L. (Guttiferae, Vorder- und Hinterindien, Südamerika) gilt als die köstlichste Frucht der Welt, ihr Geruch und Geschmack ist denen einer Mischung von Ananas und Pfirsichen ähnlich. Sie hat die Größe einer Orange, ist kugelrund, außen rot bis dunkelbraun, 5 bis 10fächerig, trägt an der Basis 4 Kelchblattreste, am Scheitel eine 5 bis 10strahlige Narbe. Die 2 cm langen Samen sind von einem schneeweißen oder rosafarbigen Samenmantel umhüllt, der saftig-fleischig ist und das Genießbare der Frucht darstellt. Die Fruchtschale ist hart und ungenießbar. — Mangopflaume, echte Mangostane von Mangifera indica L. (Anacardiaceae, Ostindien, malayischer Archipel, Fig. 13)

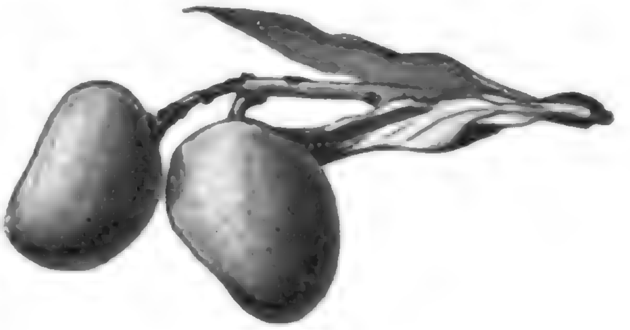


Fig. 13. Mangifera indica L. B Zweig mit 2 Früchten, Längsschnitt durch eine Frucht. Etwa ½ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

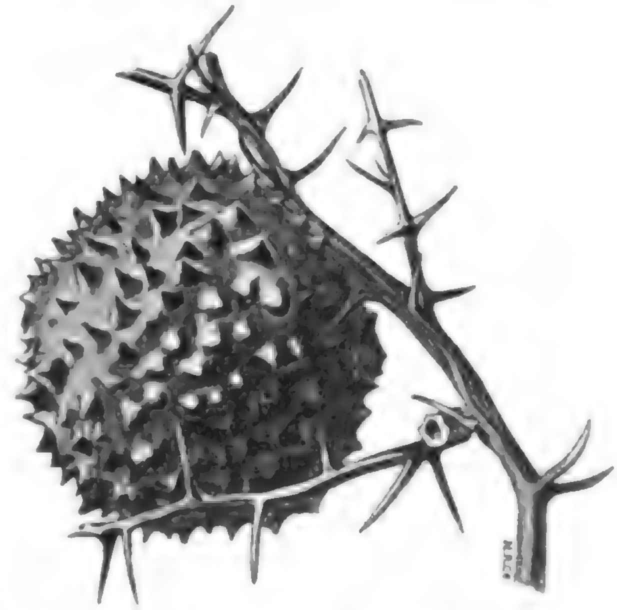


Fig. 14. Acanthosicyos horrida Welw., Narasfrucht. ½ natürlicher Größe. Nach Sadebeck.

ist eine orangegelbe gewöhnlich gänseeigroße (aber auch viel größer werdende, bis 1 kg wiegende) Steinfrucht mit sehr wohlschmeckendem Fruchtfleisch; sie enthält nur einen ziemlich großen Samen. Durch übermäßigen Genuß sollen angeblich Hautausschläge entstehen. — Die durch ihre Lebensweise merkwürdige, zweihäusige Xerophyte Naras, Acanthosicyos horrida

Digitized by Google

Welw. (Cucurbitaceae, südwest afrikanische Wüste, Fig. 14) besitzt kugelige, 10 bis 15 cm im Durchmesser haltende Früchte mit sehr harter höckeriger Schale und zahlreichen Samen. Diese liegen in einem süß und aromatisch schmeckenden saftigen Fruchtfleisch, das sich wie Apfelsinen in 10 Längsteile zerlegen läßt und die Hauptnahrung der Einwohner bildet. Auch die ölreichen Samen werden als „Butterkerne" gegessen. — Rosenäpfel, Jambusen sind die Früchte verschiedener Jambosa-Arten (Jambosa malaccensis DC., J. vulgaris DC. usw., Myrtaceae, Hinterindien), besitzen eine apfel- oder birnähnliche Gestalt und ein ziemlich festes, etwas nach Rosen riechendes Fleisch. Sie sind mit den Gewürznelken (von Jambosa Caryophyllus Niedenzu) nahe verwandt.

4. Obstverwertung und Aufbewahrung. Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Obstes ist nicht gering anzuschlagen. Die hohe Ertragsfähigkeit, der gewaltige Absatz gewisser feiner Obstarten bei verhältnismäßig guten Preisen sind für zahlreiche Gebiete eine Quelle reichen Einkommens. Die Rentabilität des Obstbaues ergibt sich schon daraus, daß das Obst selbst hohe Transportkosten verträgt, indem bei Fehlschlagen der Ernte in Europa, z. B. der Aepfel, es sich lohnt, solche aus Nordamerika (Kanada, Kalifornien) einzuführen. Eine weitere Steigerung der Rentabilität ist in der Möglichkeit gelegen, selbst recht minderwertiges Obst, das für den unmittelbaren menschlichen Genuß nicht tauglich ist, durch Umwandlung in gebrauchsfähige Ware zu verwerten. So wird aus ungenießbaren Aepfeln und Birnen Obstwein bereitet, der für manche Gegenden ein geradezu nationales Getränk darstellt. Endlich ist auch die Haltbarmachung ein ökonomisch bedeutungsvoller Faktor, dem eine eigene Industrie, die der Konserven, ihre Entstehung verdankt. Alle saftigen Früchte können so zubereitet werden, daß sie längere Zeit genußfähig bleiben, womit zugleich auch eine Geschmacksverbesserung verbunden werden kann. Die einfachste Konservierungsmethode beruht auf der Entziehung des Wassers (Trockenobst, Backobst), wobei die durch die Trocknung erreichte Konzentration des Zuckersaftes der Früchte die Grundlage der Konservierung ist. Es kann aber auch durch Zugabe von Zucker eine solche Konzentration erreicht werden, und solche Früchte heißen eingemachte Früchte. In konzentrierten Zuckerlösungen können die eine Zersetzung bewirkenden Fermente (Schimmel-, Gärungs-, Spaltpilze) sich nicht entwickeln, da der wasserbegierige Zucker das Zellwasser, insbesondere in den Vakuolen, an sich reißt und die Pilzzellen verschrumpfen. Hierzu soll nur der bessere Rohrzucker verwendet werden, denn der Traubenzucker enthält in der Regel noch Dextrine, die eine Gärung bewirken können. Zur Erteilung eines bestimmten Geschmackes oder zur Erhöhung der antiseptischen Momente werden noch weitere Zusätze, wie Rum, Kognak, Arrak, reiner Sprit, ferner auch Essig (Essigpflaumen) gebraucht, wobei an Zucker etwas gespart werden kann. Einer besonderen Geschmacksrichtung entsprechen die Senffrüchte, in Mostsenf eingemachtes Obst, wie es insbesondere von Bozen und Meran vertrieben wird. Bezüglich der Darstellungsmethoden unterscheidet man: 1. Eingemachte Früchte mit Erhaltung der Form. a) In flüssiger Zuckerlösung, b) in kristallisiertem Zucker, kandierte Früchte. 2. Marmeladen oder Mus (Obstkraut). 3. Gelees, Fruchtgallerte. 4. Fruchtsäfte.

Für die erstgenannte Form ist besonders die Darstellung des Dunstobstes empfehlenswert. Die mit gesponnenem Zucker versetzten Früchte werden in einen Glaszylinder gebracht, dieser mit Pergamentpapier verschlossen und in einem Wasserbad erwärmt. Anhaltend gekochte und durch ein Roßhaarsieb passierte Früchte geben die Marmelade. Berühmt sind die englischen Marmeladen von Orangen u. a. m. (Jams). Von gewissen Früchten erzeugt man Gelee, besonders von Quitten. Sie müssen reich an Pektinkörpern sein und nach den Untersuchungen von A. Tschirsch (Ber. d. Deutsch. Pharmaz. Gesellsch. Berlin 1911) ist es der Zucker, der das Gelatinieren der Pektinkörper bewirkt. Dieser muß also in genügender Menge entweder schon in den Früchten selbst vorhanden sein, oder durch entsprechenden Zusatz auf das nötige Quantum gebracht werden. Auch ist energisches Kochen strenge zu vermeiden, weil dadurch die Pektinkörper die gallertbildende Eigenschaft verlieren. Das Gelee muß 8 bis 10 Tage offen an der Luft stehen bleiben, wobei ein Gärungsprozeß sich vollzieht. Die bekannteste Konserve, das Pflaumenmus („Powidl") bildet einen Artikel ausgedehnten Handels, besonders von Böhmen, Mähren und dem Banat aus. Fruchtsäfte, namentlich Kirschen- und Himbeersaft sind ebenfalls Konserven von größerer Bedeutung. Bei der Erzeugung derselben handelt es sich um die Verhinderung jeglicher Gelatinierung, die dadurch erreicht wird, daß der ausgepreßte Fruchtsaft in flachen Gefäßen in kühlen Räumen einer (Selbst-) Gärung überlassen wird, die die Pektinkörper zerstört. Nach Ablauf der Gärung wird mit Zucker eingekocht.

Die obstreichsten Gebiete sind in Deutschland Württemberg, Baden und Elsaß-Lothringen, in Oesterreich-Ungarn Niederösterreich, Südtirol und Südungarn. Feine Obstsorten liefert insbesondere Südfrankreich. Die Aufbewahrung des Obstes geschieht in luftigen Kellern, Obstkammern oder eigenen Obsthäusern. Die Temperatur dieser Räume darf im Winter nicht unter 2° sinken.

Digitized by Google

Literatur. **E. Lucas**, *Vollständiges Handbuch der Obstkultur*, 4. Aufl. Stuttgart 1902. — **Gaucher**, *Handbuch der Obstkultur*, 4. Aufl. Berlin 1908. — **H. Semler**, *Die gesamte Obstverwertung*. Wismar 1906. — **Gaerdt**, *Ernte und Aufbewahrung des frischen Obstes*, 5. Aufl. Frankfurt a. O. 1909. — **Gräff und Seewer**, *Die Verwendung des Obstes*. Frauenfeld 1909. — **H. Konrad Sehrwald**, *Das Obst der Tropen*. Berlin. — **R. Sadebeck**, *Die Kulturgewächse der deutschen Kolonien und ihre Erzeugnisse*. Jena 1899. — **T. F. Hanausek**, *Früchte und Samen*. In Wiesners „Rohstoffe" II. Leipzig 1903. — **Engler-Prantl**, *Pflanzenfamilien*. — **Semler**, *Tropische Agrikultur*. — **H. M. Barth**, *Die Obstweinbereitung*, 5. Aufl. Stuttgart 1890. — *Codex alimentarius Austriaecus*, I. Wien 1911.

T. F. Hanausek.

Occlusion.

1. Diffusion und Occlusion. 2. Occlusion durch geschmolzene Metalle. 3. Occlusion durch feste kompakte Metalle. 4. Occlusion durch Metallmohre und kolloidale Metalle.

1. Diffusion und Occlusion. Gase haben allgemein die Fähigkeit, durch enge Öffnungen z. B. durch die poröse Wandung eines unglasierten Tonrohres zu diffundieren (vgl. die Artikel „Gase", „Gasbewegungen" und „Osmotische Theorie"). Die Geschwindigkeit der Diffusion ist unabhängig von der chemischen Natur der Scheidewand und des Gases; unter gegebenen Bedingungen ist sie der Quadratwurzel aus der Gasdichte umgekehrt proportional.

Neben der eben beschriebenen Art von Diffusion gibt es noch eine andere, bei der die Diffusion von der chemischen Natur der Scheidewand und des Gases abhängig ist. Die Diffusionsgeschwindigkeiten stehen in diesem Falle nicht in einem einfachen Verhältnis zur Dichte. Läßt man z. B. unter gleichen Bedingungen verschiedene Gase durch eine Kautschukmembran gegen den leeren Raum diffundieren, so ergeben sich (nach Graham) folgende Geschwindigkeiten:

	Dichte	Diffusionsgeschwindigkeit
Stickstoff . . .	14	1
Kohlenoxyd . . .	14	1,11
Sauerstoff . . .	16	2,56
Wasserstoff . . .	1	5,50
Kohlensäure . . .	22	13,59

Die relative Diffusionsgeschwindigkeit des Stickstoffes ist dabei gleich eins gesetzt. Man erkennt z. B., daß die Kohlensäure viel rascher diffundiert, als der 22mal leichtere Wasserstoff. Graham hat zuerst klar erkannt, daß eine solche Diffusion mit einer Absorption des Gases durch die Scheidewand verbunden sein müsse. „Die erste Absorption des Gases durch Kautschuk muß auf einer Art von chemischer Verwandtschaft beruhen, welche zwischen der Substanz des Gases und der Substanz des Kautschuks existiert, und der Anziehung analog ist, welche man als zwischen einem löslichen Körper und seinem Lösungsmittel existierend und die Auflösung bewirkend annimmt." Das Gas wird also zunächst an der Grenzfläche gelöst. Innerhalb des Kautschuks gleicht sich die Konzentration durch Diffusion[1]) aus, und an der entgegengesetzten Seite dunstet das Gas wieder ab. Natürlich kann Diffusion nur so lange stattfinden, als das Gas an beiden Seiten der Scheidewand verschiedenen Druck oder (was dasselbe sagt) verschiedene Konzentration hat.

Zu den Diffusionsvorgängen der zweiten Art gehört der Durchgang von Gasen durch erhitzte Metalle. Zuerst haben (1863) H. Ste. Claire Deville die Diffusion von Wasserstoff durch glühendes Platin und Eisen beobachtet. Später wurden auch Palladium, Kupfer, Nickel[2]) und bei sehr hoher Temperatur Iridium für Wasserstoff durchlässig gefunden. Bis jetzt ist nur ein Fall sicher bekannt, in dem ein anderes Gas als Wasserstoff durch ein Metall diffundiert: das Silber wird nahe seinem Schmelzpunkt für Sauerstoff durchlässig. Die aus ihrem Diffusionsvermögen gefolgerte Löslichkeit der Gase in den Metallen hat zuerst Graham eingehend untersucht. Er erhitzte die Metalle in dem betreffenden Gase und ließ sie darin erkalten. Durch erneutes Glühen im Vakuum wurde dann das absorbierte Gas dem Metall entzogen und gemessen. Es ergab sich, daß „für das Platin (und einige andere Metalle) eine neue Eigenschaft anzuerkennen ist: ein Vermögen bei Rotglühhitze, Wasserstoff zu absorbieren und dieses Gas bei einer Temperatur unterhalb der Rotglühhitze unbestimmt lange Zeit zurückzuhalten." Graham nannte diesen Vorgang Occlusion (von occludere, einschließen). Der Name Occlusion ist mittlerweile auf alle Vorgänge übertragen worden, bei denen Metalle Gase absorbieren, gleichgültig in welcher Form das Metall vorliegt. Ausgeschlossen werden gewöhnlich nur solche Reaktionen, bei denen wohl definierte Verbindungen (z. B. Hydride, Oxyde oder Nitride) entstehen. Man hat den Namen Occlusion später auch auf andere Stoffe als die Metalle und Gase an-

[1]) Die Wanderung einer gelösten Substanz in einer Lösung von Orten höherer Konzentration zu Orten niederer Konzentration wird als „Hydrodiffusion" bezeichnet. Die treibende Kraft ist der osmotische Druck.

[2]) Auch Kobalt hat sicher die gleiche Eigenschaft.

Digitized by Google

gewendet, z. B. auf die Adsorption gelöster Substanzen durch Niederschläge, doch scheint es zweckmäßig, die Bezeichnung auf das Gebiet zu beschränken, für das sie ursprünglich bestimmt war. Je nach dem Zustande des Metalles lassen sich mehrere Arten von Occlusion unterscheiden.

2. Occlusion durch geschmolzene Metalle. Der am längsten bekannte Fall ist die Absorption des Sauerstoffs durch flüssiges Silber. Wasserstoff wird aufgenommen von geschmolzenem Kupfer, Nickel, Eisen und Palladium. Flüssiges Kupfer löst reichlich Schwefeldioxyd. Da die Metalle (außer Palladium) bei der Erstarrungstemperatur in festem Zustand weniger Gas lösen als im flüssigen, entweicht das Gas während des Erstarrens ganz oder teilweise. Dabei schäumt das Metall auf, es „spratzt". Die erkalteten Metallreguli haben mehr oder minder blasige Struktur. Ein Teil des Gases kann in Hohlräumen zurückgehalten werden. Mit steigender Temperatur nimmt die Löslichkeit des Wasserstoffs in flüssigem Kupfer, Eisen und Nickel und die Löslichkeit des Schwefeldioxyds in Kupfer zu, die des Sauerstoffs in flüssigem Silber dagegen ab. Bei gegebener Temperatur ist die Löslichkeit der Gase proportional der Quadratwurzel aus dem Gasdruck. Die von den flüssigen Metallen gelösten Gase verursachen in der Metallgießerei eine blasige Struktur der Gußstücke. Da viele technisch wichtige Legierungen (z. B. die Bronzen) ein viel geringeres Absorptionsvermögen für Gase haben, sind sie beim Gießen leichter blasenfrei zu erhalten, als die reinen Metalle.

3. Occlusion durch feste kompakte Metalle. Das Metall liegt als Blech oder Draht oder ähnliches vor. Wasserstoff wird gelöst von festem Palladium, Tantal, Nickel, Kobalt, Eisen, Kupfer, Platin. Die Metalle sind nach der Größe ihres Absorptionsvermögens aufgezählt. Das Absorptionsvermögen des Palladiums und des Tantals für Wasserstoff ist sehr viel größer als das der anderen Metalle, doch nimmt es mit steigender Temperatur ab, während es bei den übrigen Metallen zunimmt. Aus einer Wasserstoffatmosphäre wird das Gas gewöhnlich erst bei höherer Temperatur aufgenommen. Palladium und Tantal lassen sich aber auch bei gewöhnlicher Temperatur reichlich mit Wasserstoff beladen, wenn man sie in einer elektrolytischen Zelle zur Kathode macht und Wasserstoff an ihnen entwickelt. Wieviel Gas beim Erkalten in einer Wasserstoffatmosphäre zurückgehalten wird, hängt von den Versuchsbedingungen ab. Bei den Metallen, deren Absorptionsvermögen mit fallender Temperatur kleiner wird (Kupfer, Eisen, Nickel, Platin), ist die zurückgehaltene Menge bei gegebener Metallmasse um so größer, je rascher abgekühlt wird und je kleiner die Oberfläche ist. Zuweilen werden durch den Wasserstoff die Eigenschaften des Metalles sehr verändert; so wird das Eisen schon durch einen sehr geringen Wasserstoffgehalt spröde. Die von einer gegebenen Metallmenge bei einer bestimmten Temperatur aus einer Wasserstoffatmosphäre aufgenommenen Gasmengen sind der Quadratwurzel aus dem Wasserstoffdruck proportional und unabhängig von der Größe der Metalloberfläche. Die wasserstoffhaltigen festen Metalle sind als feste Lösungen aufzufassen. Über die Löslichkeit anderer Gase ist noch wenig bekannt.

Die bei Atmosphärendruck von 100 g Metall aufgenommenen Wasserstoffmengen (in mg) sind für einige Temperaturen im folgenden zusammengestellt:

100 g Metall lösen mg H_2[1]):

	20°	620°	1030° C	beim Schmelzpunkt fest	beim Schmelzpunkt flüssig	Schmelzpunkt
Palladium	785[2])	8,1	7,5	6,2	3,2	1550° C
Tantal	420[3])	51,2	11,9	—	—	—
Nickel		0,52	0,98	1,6	3,5	1450
Eisen		0,12	0,52	1,2	2,4	1520
Kupfer		0,03	0,16	0,19	0,54	1084
Platin		0,01	0,02	0,45(?)	?	1744
Silber			mg Sauerstoff:[1])	ca. 7	310	962
Kupfer			mg Schwefeldioxyd:[1])	0[4])	410	1084

[1]) 1 mg H_2 = 11,1 ccm, 1 mg O_2 = 0,70 ccm, 1 mg SO_2 = 0,35 ccm bei 0° C und 760 mm Quecksilbersäule. [2]) Bei elektrolytischer Beladung. [3]) Bei Glühen und Erkalten in Wasserstoff. [4]) Festes Kupfer und Schwefeldioxyd bilden Kupferoxydul und Kupfersulfür. Die Reaktion $6Cu + SO_2 \rightleftarrows Cu_2S + 2Cu_2O$ ist umkehrbar. Jeder Temperatur entspricht ein bestimmter SO_2-Druck, der mit steigender Temperatur rasch zunimmt und schon bei 730° eine Atmosphäre erreicht (R. Schenck, Chimie physique des métaux. Paris 1911). Oberhalb 730° sind Cu_2O und Cu_2S nebeneinander nur unter höherem SO_2-Druck beständig.

4. Occlusion durch Metallmohre und kolloidale Metalle. Hierher gehören vor allem die aus den wässerigen Lösungen ihrer Salze in feiner Verteilung als „Mohr"

Digitized by Google

oder „Schwarz“ reduzierten Metalle (z. B. Platinmohr oder -schwarz). In diesem Falle spielt die Größe der Oberfläche eine erhebliche Rolle, und wie von anderen fein verteilten Substanzen werden auch von den Metallmohren sehr verschiedenartige Stoffe adsorbiert. Zuweilen aber kommt dazu ein spezifisches Absorptionsvermögen für bestimmte Gase. So wird Wasserstoff von Palladiummohr sehr reichlich aufgenommen. Noch größere Mengen Wasserstoff werden absorbiert, wenn sich das Palladium in kolloidaler Lösung befindet. Platinmohr absorbiert wechselnde Mengen Sauerstoff, dabei bildet sich Platinoxydul; der Vorfall ist streng genommen keine Occlusion sondern eine Autoxydation, der aber immer nur ein Teil des Platins verfällt. Durch Glühen werden die Metallmohre in ihrem Absorptionsvermögen den kompakten Metallen ähnlich oder gleich.

Der vom Palladium absorbierte Wasserstoff ist reaktionsfähiger als gewöhnlicher Wasserstoff. Da die wasserstofflösenden Metalle, besonders Palladium, Nickel und Platin zahlreiche chemische Reaktionen des Wasserstoffs katalytisch beschleunigen, so ist es möglich, daß zwischen dem Absorptionsvermögen und der katalytischen Wirksamkeit ein ursächlicher Zusammenhang besteht.

Literatur. ***Th. Graham***, *Ueber die Absorption und dialytische Scheidung der Gase durch kolloidale Scheidewände. Liebigs Annalen der Chemie und Pharmazie. V. Supplementband, S. 1 (1867). Auch in Ostwalds Klassikern Nr. 179 abgedruckt.* — ***Derselbe***, *Ueber die Einschließung des Wasserstoffgases durch Metalle, daselbst VI. Supplementband, S. 284 (1868).* — ***Hoitsema***, *Palladium und Wasserstoff. Zeitschr. f. physik. Chemie* **17**, *1 (1895).* — ***L. Mond, W. Ramsay und J. Shields***, *Ueber die Occlusion von Sauerstoff und Wasserstoff durch Platinschwarz. Zeitschr. f. physik. Chemie* **19**, *25 (1896);* **25**, *657 (1898).* — ***L. Wöhler***, *Ueber die Oxydierbarkeit des Platins. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* **36**, *3475 (1903).* — ***C. Paal und J. Gerum***, *Ueber das flüssige Hydrosol des Palladiumwasserstoffs, daselbst* **41**, *805 und 818 (1908).* — ***E. Heyn***, *Eisen und Wasserstoff. Stahl und Eisen* **20**, *837 (1900).* — ***A. Sieverts***, *Ueber Lösungen von Gasen in Metallen. Zeitschr. f. Elektrochemie* **16**, *707 (1910).* — ***Derselbe***, *Die Löslichkeit von Wasserstoff in Kupfer, Nickel und Eisen. Zeitschr. f. physikal. Chemie* **77**, *591 (1911).* — ***A. Sieverts und Jurisch***, *Platin, Rhodium und Wasserstoff. Berichte d. deutschen chem. Gesellsch.* **45**, *221 (1912).*

A. Sieverts.

Oekologie der Tiere.

1. Das Tier und seine lebende Umgebung. a) Beziehungen zwischen Individuen der gleichen Art. α) Beziehungen der Geschlechter zueinander. β) Beziehungen zwischen Eltern und Nachkommen. γ) Beziehungen zwischen den Artgenossen. b) Beziehungen zwischen Individuen verschiedener Arten. α) Symbiose. β) Synoecie. γ) Parasitismus. δ) Verhältnis von Räuber und Beute. ε) Biocoenosen. 2. Das Tier und seine leblose Umgebung. a) Einfluß des umgebenden Mediums. α) Einfluß des Chemismus des Wassers. β) Einfluß der physikalischen Beschaffenheit des Wassers. γ) Rückanpassung von Lufttieren an das Wasserleben. b) Einfluß des Lichts. c) Einfluß des Klimas und seiner Komponenten. α) Temperatur. β) Luftfeuchtigkeit. γ) Bewegte Luft. δ) Wechsel der klimatischen Bedingungen. d) Beziehungen der Tiere zur Nahrung. e) Beziehungen der Tiere zum Raum.

Die Zahl der Keime und Nachkommen ist bei den Tieren viel größer als notwendig wäre, um den Bestand der Art zu erhalten, und doch nimmt im allgemeinen die durchschnittliche Individuenzahl einer Art nicht zu. Daraus ergibt sich, daß ständig eine Menge von Tieren auf den verschiedensten Stufen ihrer Entwickelung zugrunde gehen, ohne auszuwachsen, und zur Fortpflanzung zu gelangen: sie kommen um im „Kampfe ums Dasein“, d. h. sie erliegen den Einflüssen der Umwelt, teils der lebenden, teils der leblosen. Diejenigen, die den „Kampf ums Dasein“ mit Erfolg kämpfen, verdanken dies Eigenschaften und Einrichtungen, die sie gegenüber den schädlichen Einwirkungen der Umwelt mehr oder weniger schützen. Solche Eigenschaften und Einrichtungen nennen wir Anpassungen (über die Theorien, die das Entstehen solcher Anpassungen erklären wollen, vgl. den Artikel „Deszendenztheorie“). Es gehen aber von der Umwelt auch noch andere Einwirkungen aus, wodurch die Tiere in ihrer physikalischen und chemischen Beschaffenheit verändert werden, ohne dadurch gefördert oder geschädigt zu werden. Das Studium aller dieser Beziehungen der Tiere zu ihrer Umwelt bildet den Gegenstand der Oekologie der Tiere.

1. Das Tier und seine lebende Umgebung. **1a) Beziehungen zwischen Individuen der gleichen Art.** *α*) **Beziehungen der Geschlechter zueinander.** Männchen und Weibchen leben bei vielen Tierarten ständig beieinander, so daß beim Eintreten der Brunst das Zusammenkommen keine Schwierigkeiten hat. Bei festsitzenden Tieren ist das sogar eine Vorbedingung für die Befruchtung der Eier. Bei solchen und bei langsam beweglichen Tieren würden isolierte Einzelindividuen von der Fortpflanzung ausgeschlossen sein, wenn nicht so vielfach Zwittrigkeit vorkäme, die im Notfalle Selbstbefruchtung gestattet oder doch beim Zusammensein wenigstens zweier Individuen eine Befruchtung der Eier ermöglicht (Trematoden und Cestoden, Oli-

Digitized by Google

gochaeten, Cirripedier, Lungenschnecken, viele Muscheln; Selbstbefruchtung sogar sehr häufig bei rhabdocoelen Strudelwürmern und den Nachtschnecken Limax und Arion). Vielfach aber muß das Zusammenfinden der Geschlechter durch besondere Umstände befördert werden, besonders bei Arten, die auf großem Gebiet sehr verstreut vorkommen. Gar nicht selten ist es, daß sich zur Brunstzeit beide Geschlechter nach bestimmt gekennzeichneten Orten begeben und dadurch zusammenfinden. So fliegen die Biesfliegen (Oestrus, Hypoderma) gern um erhabene, weit sichtbare Gegenstände (Aussichtstürme, Einzelbäume); ähnliche Wahrzeichen suchen die Ameisen bei ihrem Schwärmen auf, und auch die Mückenschwärme orientieren sich nach optisch ausgezeichneten Punkten. Bei anderen Tieren finden sich die Geschlechter bei der Nahrung zusammen, wie Mistkäfer, Blütenbesucher u. a. Die gleiche Wirkung haben die Wanderungen vieler Tiere zur Zeit der geschlechtlichen Reife nach örtlich beschränkten Gebieten, wo sie sich aus weitem Umkreis zusammenfinden: so kommen bei Helgoland die Seesterne Asterias rubens gegen Mitte April zur Ei- und Samenablage in die Nähe des Strandes; zum gleichen Ziele findet sich bei Ambon der Kopffüßler Nautilus vom Mai bis September im flachen Wasser ein. Wunderbar durch seine Festlegung auf gewisse, durch kosmische Einflüsse bestimmte Tage ist das Schwärmen des Palolowurms (Eunice viridis) auf den Samoainseln und ähnlich lebender Ringelwürmer (Eunice furcata von Dry Tortugas und Portorico, und Ceratocephale osawai in den japanischen Meeren): vom Palolo kommen im Oktober und November am Tage vor dem letzten Mondviertel oder an diesem Tage selbst die geschlechtsreif gewordenen Hinterenden zahlloser Würmer, die in Lücken und Löchern der Korallenriffe leben, losgetrennt herauf an die Meeresoberfläche zur Ei- und Samenabgabe. Bei vielen Fischen werden zur Laichzeit Wanderungen ausgeführt, die die Geschlechter zusammenbringen: Hering und Dorsch und im Süßwasser die Felchen (Coregonus) kommen aus den Tiefen zur Wasseroberfläche, um im flachen Wasser abzulaichen, und ähnlich wandern die Tunfische; Lachs und Maifisch (Alosa vulgaris) wandern aus dem Meere stromaufwärts, der Aal aus den Binnenwässern zur See und zunächst an den Küsten entlang weiter. Landbewohner, deren Eier des Wassers bedürfen, suchen in beiden Geschlechtern zur Brunstzeit das Wasser auf, Landkrabben das Meer, Molche, Frösche und Kröten aber Süßwasseransammlungen. Wassertiere, deren Eier oder Junge am Lande abgesetzt werden, finden sich an den Küsten zusammen, so Schildkröten und Robben. Große Wanderungen unternehmen zur Brunstzeit die Seevögel zu ihren Brutinseln, wo sie, jede Art zu ihrer Zeit, mit derselben Pünktlichkeit eintreffen wie die Zugvögel unserer Breiten aus den südlichen Winterquartieren bei uns.

Das Auffinden der Weibchen wird den Männchen oft durch besonders hoch ausgebildete Sinnesorgane, vor allem Seh- und Riechorgane, und durch bessere Bewegungsorgane erleichtert; die Weibchen haben zuweilen einen spezifischen Geruch (Spinner; Säuger); im Dunkel der Tiefsee werden die Angehörigen mancher Arten durch die charakteristische Anordnung ihrer Leuchtorgane für einander erkennbar.

Bei manchen Arthropoden und vielen Wirbeltieren kommt es zu eifersüchtigen Kämpfen der Männchen — unter der Voraussetzung, daß ihre Zahl größer ist als die der Weibchen. Solche Kämpfe ebenso wie die „Bewerbungen“ hofierender Männchen, wie Liebesspiele mancher einzellaichenden Fische und der Wassermolche, Balzflüge und Gesang bei Vögeln, können vielleicht als Leistungen aufgefaßt werden, die aus dem Ueberschuß bestritten werden, den die Männchen infolge geringerer stofflicher Leistungen bei der Fortpflanzung haben (die aufgewandte Samenmenge ist kleiner als die Menge der Eier), ebenso wie die sekundären Geschlechtsmerkmale (vgl. den Artikel „Fortpflanzung“).

β) Beziehungen zwischen Eltern und Nachkommen. Die zur ersten Entwickelung notwendigen Stoffmengen sind im Ei enthalten. Oft aber ist die Dottermasse, die der Eizelle eingelagert ist, eine bedeutende und fördert die Entwickelung des Embryo weit; oder es werden für die weitere Entwickelung andere Nährstoffe dem Ei beigegeben, die nicht dem Eierstock entstammen, wie Dotterzellen oder Eiweiß, oder dem Embryo, der mit dem mütterlichen Körper vereinigt bleibt, wird Nahrung durch Diffusion zugeführt (eiertragende und vivipare Formen; zuweilen besorgen die Männchen diese Art der Brutpflege z. B. das Seepferdchen, Hippocampus), andere besorgen Futtervorräte für die ausschlüpfenden Jungen (z. B. viele Hymenopteren), oder endlich die Mutter oder beide Elterntiere überleben die Eiablage lange und füttern die Jungen direkt, wozu sich bei höheren Wirbeltieren noch Führung und Anleitung der Jungen gesellt (vgl. den Artikel „Brutpflege“). Somit sind alle Uebergänge von der einfachen Ablage dotterarmer Eier bis zur komplizierten Brutpflege, bei Vögeln und Säugetieren, vorhanden. In kompensatorischer Weise ist dort, wo die Eier dotterarm sind und die Embryonen und Jungen ohne

Digitized by Google

Pflege bleiben, die Zahl der Eier eine große; je günstiger sich aber die Aussichten der Jungen durch Nahrung und Pflege gestalten, desto geringer ist im allgemeinen die Zahl der Eier.

Wenn die brutpflegenden Eltern das Auskommen ihrer Nachkommen erleben, kann es zur Bildung von Familienverbänden kommen. Solche sind bei den Insekten als „Staaten“ der Termiten und sozialen Hymenopteren (Wespen und Hummeln mit einjährigen, Termiten, Ameisen und Bienen mit perennierenden Staaten) bekannt; bei den Säugern können solche Familien als Herden dauernd zusammenbleiben (vgl. den Artikel „Tierstaaten“).

γ) Beziehungen zwischen den Artgenossen. Die Angehörigen der gleichen Art finden sich häufig vergesellschaftet. Oft ist dies nur die Folge ihrer Vermehrungsweise. Festsitzende und wenig bewegliche Tiere, die sich ungeschlechtlich fortpflanzen oder deren Larven nur geringe Beweglichkeit besitzen, sitzen in Kolonien und Scharen beieinander; die aus einem Gelege geschlüpften Schmetterlingsraupen bleiben oft in einem „Nest“ vereinigt. Die gleichen Bedürfnisse, was Nahrung, Schlupfwinkel, Feuchtigkeit u. a. betrifft, führen zahlreiche Individuen einer Art zusammen an Orten, die diesen Bedürfnissen entsprechen, wie bei den Vogelbergen des Nordens, den Kolonien des Wurmes Tubifex im Süßwasser, den Bewohnern der Korallenriffe u. a. Aber darüber hinaus gibt es in manchen Fällen einen Zusammenschluß von Angehörigen der gleichen Art unabhängig von der Fortpflanzung, der vielleicht durch die chemischen Reize gleichen spezifischen Geruches bedingt wird, jedenfalls aber schon bei Tieren von so verhältnismäßig niedriger Organisation vorkommt, daß von geschwisterlicher Zuneigung und ähnlichen Motiven nicht die Rede sein kann, so in den Wanderungen des Heerwurms (Larven der Fliege Sciara militaris), der Kohlweißlingsraupen, der Prozessionsraupen (Cnethocampa), der Heuschrecken, Libellen und Schmetterlinge. Aus der Zusammengehörigkeit der Familienglieder ergibt sich die Herdenbildung bei den großen Pflanzenfressern (Zebra, Antilopen, Bison, Elefant) und den Affen, wobei durch Führung alter erfahrener Tiere und durch die vereinigte Aufmerksamkeit eine erhöhte Sicherheit erzielt wird. Auch die Geselligkeit der zusammennistenden Vögel wie Saatkrähen, Reiherarten, Uferschwalben und Webervögel und dergleichen mag so begründet sein. Echte Interessengemeinschaften aber scheinen die Versammlungen mancher Zugvögel zur Wanderung oder die Vereinigung der Wölfe zu gemeinsamer Jagd zu sein.

Aber durchaus nicht alle Tiere sind gesellig gegenüber Tieren der gleichen Art. Die Eifersucht der Männchen in der Fortpflanzungszeit, vor allem aber der Wettbewerb um die Nahrung sind Gründe, die zu Feindseligkeit unter Artgenossen führen können. Vor allem bei solchen landbewohnenden Tieren, die auf tierische Nahrung angewiesen sind, treten oft derartige Gegensätze auf wegen Knappheit der Beute; so sind die meisten Raubvögel und Raubsäugetiere Einsiedler, die in der Regel nur paarweise vorkommen; ähnlich manche Insektenfresser, wie die Spitzmäuse und der Maulwurf, der sogar das Weibchen außer der Paarungszeit befehdet. Bemerkenswert ist auch die Gegensätzlichkeit verschiedener Ameisenvölker gleicher Art, bei größter Harmonie zwischen den Angehörigen des gleichen Volkes.

Wie der Fortpflanzungstrieb oft Kämpfe zwischen Individuen der gleichen Art herbeiführt, so entstehen zwischen ihnen auch eingreifende Konkurrenzerscheinungen infolge der Nahrungssuche. Die Folgen sind aber hier oft anders als bei der Konkurrenz zwischen verschiedenen Arten: in einem zu reich bevölkerten Karpfenteich bleiben die Einzeltiere klein; ein zu reicher Bestand an Brachsen (Abramis brama) hat in manchen Seen eine starke Minderung ihrer Größe herbeigeführt; bei Massenvermehrung und darauf folgenden Kahlfraß müssen die Raupen des Rotschwanzes (Dasychira pudibunda) zu Millionen verhungern und decken spannenhoch den Boden, und der kleine Rest gibt zwerghafte Falter.

ɪb) Beziehungen zwischen Individuen verschiedener Arten. Auch zwischen Individuen verwandter Arten finden manchmal ähnliche Beziehungen wie zwischen Artgenossen statt. Zu geschlechtlicher Vereinigung kommt es zwischen ihnen allerdings nur selten, wie zwischen Raben und Nebelkrähe, zwischen Auer- und Birkhuhn. Aber zu Gemeinschaften vereinigen sich zur Strichzeit verschiedene Meisenarten unter sich und mit Kleibern und Baumläufern, oder Finkenvögeln verschiedener Art, um die gleichen Nahrungsquellen abzusuchen. So findet man mit den Herden der Zebras oft Gnus vereinigt, nicht selten noch Springböcke und andere Antilopen. Wird die Vergesellschaftung so, daß einem der Gesellschafter daraus ein besonderer Nutzen erwächst, so unterscheidet man folgende Fälle:

{Beide Gesellschafter haben von dem Zusammenleben einen Vorteil: α) Symbiose.
{Einer der Gesellschafter { ohne ihn dabei direkt zu schädigen β) Synoecie
nutzt den anderen aus { unter Schädigung desselben. γ) Parasitismus.

Zwischen diesen Abteilungen gibt es mannigfache Uebergänge.

Digitized by Google

α) S y m b i o s e. Was zunächst die Symbiose (vgl. den Artikel „S y m b i o s e") angeht, so kann man vielleicht schon die oben genannten Fälle von Zusammenleben verschiedener Arten dazu rechnen, wenn man annimmt, daß durch die vermehrte Wachsamkeit zahlreicherer Individuen die Sicherheit des Ganzen erhöht wird. Jedenfalls wird die Vereinigung von Straußen mit Zebra- oder Antilopenherden als Symbiose zu gelten haben, wobei die Huftiere als Riechtiere die Feinde wittern, der Strauß als Sehtier sie erblickt. Ameise und Blattlaus leben in Symbiose derart, daß die Blattlaus der Ameise ihre süßen Exkremente (Honigtau) abgibt, die Ameise dafür die Feinde der Blattlaus (Kugelkäferchen, Blattlauslöwen) angreift. Viel enger ist die Genossenschaft zwischen Einsiedlerkrebs und Aktinie, wo dieselben Individuen dauernd miteinander verbunden sind, z. B. Eupagurus prideauxii und Adamsia palliata: die Adamsia sitzt hier nahe der Mündung des Schneckengehäuses, das der Einsiedler bewohnt, an der Unterseite, nahe den Mundwerkzeugen des Krebses und kann so an seinen Mahlzeiten teilnehmen; sie gewährt dem Krebse Vorteil einmal durch ihre vorstreckbaren, mit Nesselkapseln versehenen Akontien und weiter dadurch, daß sie durch Ausscheidung einer Hornmembran sein Gehäuse vergrößert; sie ist dabei in einer Anzahl von körperlichen Eigenschaften und Instinkten an dies Zusammenleben angepaßt, während die entsprechende Anpassung des Einsiedlerkrebses nur in gewissen Instinkten besteht. Der Symbiosen zwischen pflanzlichen und tierischen Objekten (grüne Algen, sogenannte Zoochlorellen, in Hydra, Vortex, Bonellia; Blumen und Insekten) und zwischen zweierlei Pflanzenformen (Pilzen und Algen in den Flechten) wird a. a. O. genauer gedacht.

Hier sei nur noch einer besonderen Symbiose Erwähnung getan, derjenigen zwischen dem Menschen und seinen H a u s t i e r e n. Der Mensch bietet den Haustieren Wohnung und Nahrung und läßt ihnen Schutz und Pflege angedeihen, und zieht seinerseits Nutzen aus ihrer Sinnesschärfe (Hund), Körperkraft (Pferd, Kamel) und aus den Produkten und Teilen ihres Körpers (Milch, Eier, Wolle, Fleisch, Haut) oder freut sich an ihren Formen und Farben, an ihrem Benehmen und ihrer Anhänglichkeit. Es sind fast ausschließlich Herdentiere, die zu Haustieren geworden sind, mit Ausnahme der Katze, die sich ja auch nicht ganz der Pflege und Kontrolle des Menschen fügt; man darf wohl annehmen, daß die ihnen gewohnte Unterordnung unter einen fremden Willen, den ihres Leittieres, der Haustierwerdung förderlich war. Die Zähmung (Domestikation) hat auf die Haustiere mannigfach verändernd eingewirkt. Ihre besonderen Eigenschaften erklären sich zum Teil durch ihre (teilweise) Ausschaltung aus dem Kampfe ums Dasein; dadurch wird das Auftreten einer Menge von Eigenschaften möglich, die für freilebende Tiere nachteilig wären: auffällige Farben, Minderung der Bewegungsfähigkeit (bei Enten und dem Seidenschmetterling); Verkleinerung des Gehirns (außer beim Haushund, wo es im Vergleich zum gleichgroßen Schakal größer ist); Verschlechterung der Sinnesorgane, wie kleinere Augen, Hängeohren; Verlust von Instinkten, wie des Brutinstinkts bei Haubenhühnern; spezielle Körpereigentümlichkeiten wie Verkürzung des Oberkiefers, Mopsköpfigkeit bei Mops, Tschin (japanischer Schoßhund), Niatarind; Kurzschnäbligkeit der Purzler, deren Junge deshalb die Eischale nicht selbständig durchstoßen können. Andererseits hat die Haltung unter abnormen Bedingungen die Variabilität erhöht, und die reichliche Ernährung zu Frühreife und gesteigerter Fruchtbarkeit geführt (z. B. Haushuhn bis max. 246 Eier jährlich, die wilde Stammform 10; Haushund bis 20 Junge in einem Wurf, Schakal 5 bis 8). Dazu kommt, daß die Körperteile, die der funktionellen Anpassung unterliegen, in ihrer Ausbildung nicht selten zurückbleiben, da die Funktion nicht genügend eingreift: das Herz der Hausente wiegt 6,35‰ des Körpergewichts gegenüber 8,5‰ bei einer etwa gleichschweren Wildente, ähnlich Haus- und Wildkaninchen 2,78 und 3,16‰; die Zahnreihe ist beim Hunde kürzer und die Zähne daher kleiner als beim gleichgroßen Wolf. Wahrscheinlich befördern auch die Abweichungen in den Existenzbedingungen gegenüber denen des Freilebens das Auftreten neuer Bildungen, Variationen und Mutationen. Unter den so auftretenden Formen hat der Mensch ausgesucht, was ihm am nützlichsten oder angenehmsten war, und hat es weitergezüchtet.

β) Synoecie. Als Synoecie wird ein Zusammenschluß zweier Tiere bezeichnet, von dem nur der eine Gesellschafter einen Nutzen zieht, ohne damit aber eine Schädigung des anderen herbeizuführen. Formen der Synoecie gibt es zahlreiche, und äußerlich kann man die Nutznießer, je nach der Innigkeit der Vereinigung, einteilen in Epöken, Synöken im engeren Sinn und Paröken. E p ö k e n wohnen auf dem Wirtstier oder in offenen Körperhöhlen desselben, wie die Seepocke Coronula auf der Haut des Walfisches, eine Mießmuschel (Modiolaria) in der Mantelsubstanz einer Ascidie (Fig. 1) oder die Eier des Bitterlings zwischen den Kiemen der Teichmuschel. Die S y n ö k e n im engeren Sinne teilen nur die Wohnung des Wirtstieres, wie manche Ringelwürmer (Nereis) sich im Schneckenhaus des Einsiedlerkrebses einnisten, oder gewisse Gallwespen ihre Eier in anderen

Gallen unterbringen, wodurch die ursprünglich darin wohnende Larve nicht geschädigt wird. Paröken endlich halten sich nur in

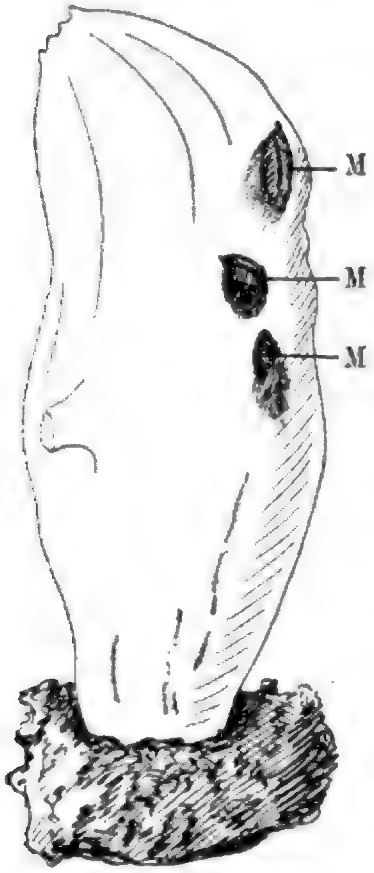


Fig. 1. Drei Modiolaria barbata (M) im Mantel von Ascidia mentula, mit dem Hinterende herausschauend. Nach List.

der Nähe ihres Nutzgebers: junge Fischchen schwimmen im Schutze des Schirmes großer Quallen, von deren Nesselbatterien geschützt; ein kleiner Vogel, der Krokodilwächter (Cursorius aegyptius) sucht seine Nahrung auf dem Krokodil, ja sogar in dessen aufgesperrtem Rachen; auf den Korallenriffen herrscht ein ganz eigenartiges Tierleben, indem viele Tiere direkt an das Zusammenleben mit den Korallen gebunden sind und nur hier vorkommen.

Eine besondere Form der Synoecie im weiteren Sinn ist der Kommensalismus, die Teilnahme der Synöken an den Mahlzeiten ihrer Gesellschafter. Hier finden sich alle Uebergänge zum Parasitismus, indem durch solche Nutznießung eine Schädigung des Genossen bewirkt werden kann. Wenn der Muschelwächter (Pinnotheres) aus dem Atemwasser der Muschel seinen Sauerstoff und seine Nahrung bezieht, so ist das wohl kaum eine Beeinträchtigung der Muschel; anders bei der Bienenlaus, die durch kitzelnde Berührung der Mundteile der Biene diese zum Erbrechen eines Tröpfchens Futtersaft veranlaßt, das sie aufleckt, oder beim Schmarotzermilan, • der den Falken durch Belästigung zum Preisgeben seines Raubes nötigt. Hier beginnt schon der Parasitismus.

γ) Parasitismus. Der Parasitismus findet an anderer Stelle (s. die Artikel „Parasitismus" und „Parasiten") eine eingehende Behandlung. Hier sei nur darauf hingewiesen, wie schwer es ist, eine scharfe Grenze zwischen Raubtier und Parasiten zu ziehen: der Marder, der das Blut eines Vogels saugt, ist ein Raubtier; der Egel, der das Blut eines Pferdes saugt, ist ein Schmarotzer — wenn er aber ein junges Fröschchen aussaugt, daß es zugrunde geht, ist auch er ein Räuber. Die Schmarotzer sind kleiner und schwächer als ihr Wirt, die Räuber meist größer und stärker als die Beute (aber der Wolf kleiner als der Hirsch!). Aber nicht das, sondern das sofortige völlige Vernichten des Nutztiers ist das Kennzeichen des Räubertums gegenüber dem Schmarotzertum (nicht das allmähliche Vernichten, wie bei der Raupe durch die Schlupfwespe). So erklärt es sich, daß die Tiere so wenige Anpassungen besitzen, um sich gegen Schmarotzer zu schützen, aber so zahlreiche zum Schutz gegen Räuber — denn hier hat keine Auslese gewaltet; die gegen Schmarotzer ungeschützten konnten trotzdem leben und sich fortpflanzen; dagegen die gegen ihre räuberischen Feinde ungeschützten fielen diesen zum Opfer und nur die in verschiedenem Grade besser geschützten überlebten und konnten ihre günstigen Eigenschaften vererben.

δ) Räuber und Beute. Das Verhältnis von Räuber und Beute, von Verfolger und Verfolgtem ist ein überaus wichtiges. Eine sehr große Zahl von Tieren sind Fleischfresser, sind also für ihren Unterhalt auf das Erbeuten anderer Tiere angewiesen. Unter den Wirbeltieren z. B. finden sich nur in der Reihe der Säugetiere zahlreiche Pflanzenfresser, sie machen dort mehr als die Hälfte der lebenden Arten aus; von den Vögeln nehmen zwar auch viele die nährstoffreichen Samen und saftigen Früchte der Pflanzen, wenige aber Blätter und Stengel; einige Pflanzenfresser stellen die Reptilien und Fische; aber im Ganzen ist bei weitem die Ueberzahl der Wirbeltiere fleischfressend. Auch unter den Gliederfüßlern sind zahlreiche Raubtiere, und von Meerestieren sind vor allem die Strudler und Planktonfresser auszunehmen; Kostgänger größerer Pflanzen, der Algen und Tange, spielen jedoch eine geringe Rolle. So herrscht im Tierreich überall ein intensives Verfolgen und Verfolgtwerden.

Durch die Heftigkeit dieses Kampfes ist es zu einer Fülle von Anpassungen gekommen: je mehr die Beute sich gegen die Räuber sichert, um so mehr muß dieser seinerseits angepaßt sein, um zu seiner Nahrung zu kommen; jede Neuerwerbung des Verfolgers verschärft die Auslese und läßt nur die bestgeschützten Verfolgten übrig, und deren

Anpassung erschwert wieder den Verfolgern den Nahrungserwerb, so daß auch von ihnen wieder die Bestangepaßten überleben. Der vorzügliche Schutz, den der Panzer den Schildkröten gewährt, hilft ihnen nichts gegen den starken Schnabel des Mönchsgeiers, der diesen Panzer zerbricht; die dicke, verschließbare Kalkschale sichert die Muscheln gegen die meisten Feinde, aber die Schnecke Natica bohrt mit ihrem Rüssel ein Loch in die Schale und frißt das Tier heraus. Keine Anpassung ist eine absolute, bei dem reichlichen Material an Nachkommen, das die verschwenderische Fortpflanzung bei den meisten Tieren liefert, genügt ja auch ein relativer Schutz, um die Art vor der Vernichtung zu bewahren.

Angriffs- und Schutzmittel sind vielfach identisch. Der Giftstachel des Skorpions tötet seine Beute und wehrt seinen Feind ab; das weiße Winterkleid des Hermelins schützt dieses beim Beschleichen des Schneehasen, wie durch die gleiche Färbung dieser vor dem Hermelin verborgen wird. Wir können daher die Anpassungen der Verfolger und Verfolgten hier vielfach nebeneinander behandeln.

Schnelligkeit der Bewegungen ist weit verbreitet bei Land- und Luftbewohnern: Wolf und Hirsch, Falke und Schwalbe, Libelle und Fliege wetteifern darin. Wie diese kommen auch Waffen sowohl Verfolgern wie Verfolgten zu, ja, sie dienen demselben Tiere zum Angriff und zur Verteidigung, wie der Stachel bei der Wegwespe und der Kieferfuß beim Skolopender. Einfach mechanisch wirkende Waffen sind besonders die Mundwerkzeuge, Zähne oder Kieferbildungen, ferner Krallen und Stacheln an den Gliedmaßen, z. B. an den Fangbeinen der Fangheuschrecke (Mantis) als Angriffswaffen. Scheren an den Beinen vieler Krebse und Skorpione, Krallen bei Raubvögeln und Raubsäugern (ursprünglich Kletterwerkzeuge!). Zur Verteidigung dienen die Stacheln der Seeigel, wo sie sich auf Reiz gegen die Reizstelle beugen, ebenso Stacheln am Rumpf und Hinterleib der Heuschreckenkrebse, oder Hautzähne und Stacheln (bei Säugern umgebildete Haare) bei Haien und Rochen, Igelfisch, Stichling, manchen Reptilien wie Moloch und Heloderma, Ameisenigel, Igel, Stachelschwein u. a.

Vielfach werden zu Angriff und Verteidigung giftige Säfte benutzt. Bei den Coelenteraten sind Giftwaffen in Gestalt der Nesselkapseln weit verbreitet, auch manchen Strudelwürmern kommen sie zu. Bei den Stachelhäutern finden wir Giftzangen (giftige Pedicellarien) besonders bei den Seeigeln, wo sie zwischen den Stacheln stehen. Die giftigen Radulazähne der Toxoglossen unter den Kiemenschnecken (z. B. Conus), und die Giftdrüsen, die in dem Vorderdarm des Tintenfisches Octopus münden, sind Angriffsmittel. Verbreitet sind Giftorgane bei manchen Spinnentieren (Skorpionsstachel, Spinnenkiefer, Munddrüsen des Bücherskorpions Chelifer) und unter den Tausendfüßern bei den Chilopoden (in den Kieferfüßen); bei den Insekten sind besonders die mit Wehrstachel versehenen Hymenopteren, wie Wespen und Bienen, mit Giftdrüsen ausgerüstet, manche Insekten benutzen ihr „giftiges“ Blut zur Verteidigung (Blutspritzer unter den Heuschrecken z. B. Eugaster, Platystolus; Austritt von Blut aus den Beingelenken bei Kugelkäfern [Coccinella], Blattkäfern, dem Maiwurm Meloë u. a.; Giftigkeit nachgewiesen; Blut einer Käferlarve bei den Buschmännern Pfeilgift). Nicht selten sind Gifttiere in der Reihe der niederen Wirbeltiere. Zum Töten der Beute dient das Gift vor allem den Giftschlangen, wo die Giftdrüsen an besonderen Zähnen des Oberkiefers münden; zum Schutz dienen Giftstacheln bei manchen Haien (Spinax) und Knochenfischen (Petermännchen Trachinus draco u. a.) und vor allem die Giftdrüsen in der Haut von Amphibien (Feuersalamander, Kröten; aber auch das Sekret der Froschhaut ist giftig); auch die Giftzähne im Unterkiefer der Eidechse Heloderma horridum werden wohl so gebraucht.

Zahlreiche Landtiere verwenden zur Verteidigung das Sekret ihrer Stinkdrüsen, das vielfach wohl auch giftig wirkt. So haben unter den Tausendfüßern die Chilognathen besondere Foramina repugnatoria (bei einer Form wurde Blausäure als Drüsensekret nachgewiesen); zahlreiche Insekten besitzen Stinkdrüsen als Larven (Lina populi; Raupen von Schwalbenschwanz und Weidenbohrer) oder fertige Tiere (Küchenschabe, Wanzen mit Drüsen am Thorax, der Netzflügler Chrysopa, Staphyliniden, der Bombardirkäfer Brachinus; die südamerikanischen Maracujáfalter). Die Jungen der Albatrosse und anderer Seevögel speien ihren übelriechenden Kropfinhalt gegen den Angreifer, und das Stinktier (Mephitis) unter den Säugern entleert den Inhalt seiner Analdrüsen.

Zum Fang wie zur Verteidigung können Gespinnste dienen. Die Fanggespinnste der Spinnen sind bekannt. Von wenigen trocknen oder klebrigen Fäden der Netzspinnen zu den dichten Geweben der Röhrenspinnen (z. B. Winkelspinne Tegenaria) und den kunstvollen Netzen der Radspinnen werden sie immer vollkommener. In den Tropen begegnet man Radnetzen von 2 m Durchmesser; eine südafrikanische Spinne verdichtet das Zentrum des Netzes zu einem weißen Fleck, der wie eine weiße Blüte aussieht und vielleicht als Lockmittel wirkt. Andererseits brauchen manche Insektenlarven die Spinnfähigkeit,

Digitized by Google

um Netze über ihren Wohnplatz zu spinnen und sich so zu sichern vor den Nachstellungen der Vögel, die ihr Gefieder nicht beschmutzen wollen: so die Gespinstmotten (Hyponomenta), die Kotsackblattwespen (Lyda), die Prozessions- und Ringelspinner mit ihren Raupennestern.

Von außerordentlicher Wichtigkeit sowohl für den Verfolger wie für die Verfolgten ist der Schutz gegen Sicht. Er wird erreicht durch Schutzfärbung, oft verbunden mit Schutzgestalt, und durch Maskierung. Dazu müssen aber oft noch bestimmte Instinkte kommen, die jene Einrichtungen erst wertvoll machen: das Aufsuchen entsprechender Umgebung und das Vermeiden von Bewegungen zur Zeit der Gefahr.

Als Schutzfärbung ist durchaus nicht etwa nur eine genaue Aehnlichkeit mit irgendeiner bestimmten Umgebung aufzufassen; eine solche wird besonders dort am Platze sein, wo auf weite Strecken die Umgebung ganz oder nahezu gleichgefärbt ist, wie für die Wüstenbewohner, bei denen ein graues Gelb den Heuschrecken, der Hornviper, dem Wüstenhuhn und der Haubenlerche, der Springmaus und dem Fenneck und vielen anderen gemeinsam ist, oder für die Polartiere, die im ewigen Schnee ihrer Umgebung ein weißes Kleid tragen wie Eisbär, Eisfuchs und Schneeeule. In bewachsenen Gegenden aber, wo die Farben mannigfach verteilt sind, wo Licht und Schatten wechseln, wo viele Vergleichsobjekte in der Nähe sind, wo das ganze Bild unruhig ist, da genügt es, nicht aufzufallen. Indifferente Farben, die sich überall in die Umgebung einfügen, ohne vorzustechen, sind da auch Schutzfarben; was auffällt, wird ausgemerzt. Hier im einzelnen zu deuten, etwa zu sagen, daß durch die Streifung des Tigers die Schattenstreifen des Dschungelgrases vorgetäuscht werden, oder daß das gefleckte Fell des Panthers einem sonnenbeschienenen Ast mit Laubschatten ähnele, erscheint zu weit gegangen. Die Färbung ist ja auch bei den meisten Tieren nicht das einzige Mittel der Sicherung gegen Sicht; ihnen ist ja Gelegenheit gegeben, sich aktiv zu verbergen, was jene Tiere nicht können, die auf winterlichem Schnee oder auf ödem Wüstenboden wohnen.

Einer besonders intensiven Schutzfärbung bedürfen jene Tiere, die sich träge und ungeschickt bewegen und am gleichen ungedeckten Platze oft lange Zeit verweilen, und dabei besonders scharfsichtige Feinde haben, wie es die Reptilien und Vögel sind — denn wie der menschliche Jäger oder Insektensammler im Erkennen der gesuchten Beute geübt wird, so sind auch jene Tiere als Spezialisten geschickt im Auffinden ihrer Opfer. Besonders unter den Orthopteren finden wir außer der Schutzfärbung auch häufig Schutzgestalt: die trägen Bacillus-Arten und ihre Verwandten (Fig. 2a) ahmen Zweige und Aeste in Form und Farbe nach; Phyllium (Fig. 2b) und manche Mantiden haben blattförmig verbreiterte Flügel und Gliedmaßen, mit blattähnlicher Farbe und Zeichnung. Ganz wunderbar ist die Nachahmung der Rindenfärbung verschiedener Bäume bei manchen sitzenden Schmetterlingen, deren lebhaft gefärbte Hinterflügel dann versteckt sind; die Raupen mancher Spanner gleichen in Form und Farbe Aestchen, die sie auch auf gewisse Reize hin („Schreck") in ihrer Haltung nachahmen. Der oberseits bunte Tagfalter Kallima (Fig. 3) gleicht in der Ruhehaltung mit rückenseits zusammengeschlagenen Flügeln einem welken Blatt nach Form und Farbe.

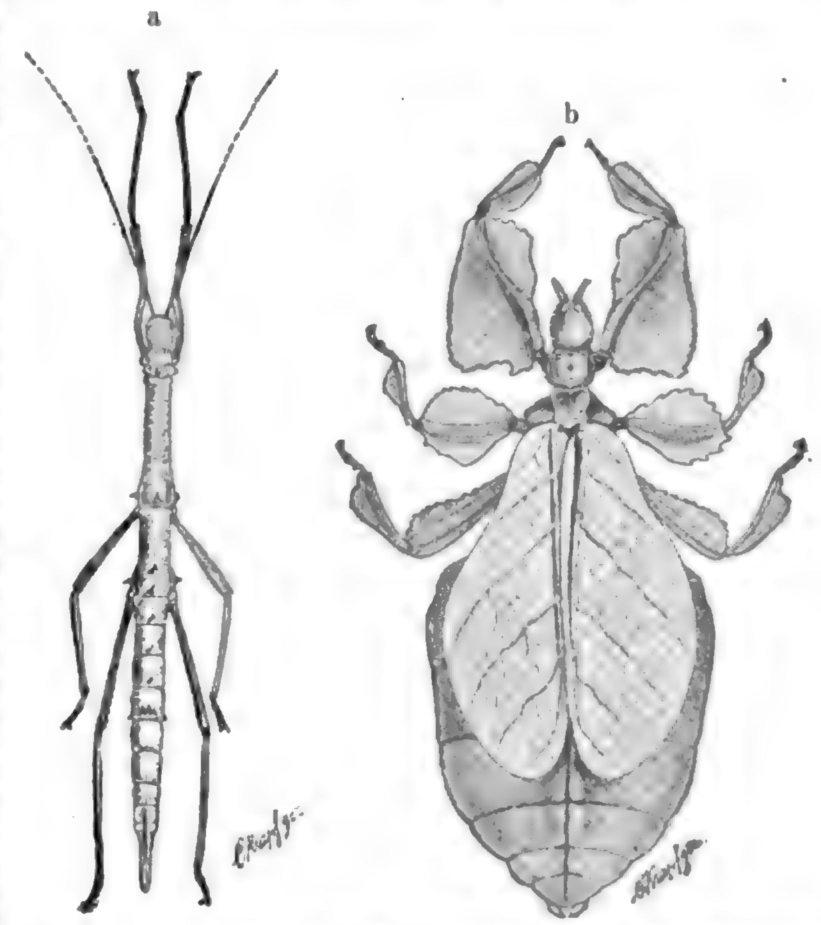


Fig. 2. Schutzform bei Geradflüglern: a) eine Stabheuschrecke (Acanthoderus wallacei), b) ein „wandelndes Blatt" (Phyllium scythe). Aus Hertwig, Zoologie.

Digitized by Google

Sehr wirksam ist die Farbanpassung dann, wenn sie mit Farbwechsel einhergeht: das Tier hat dann die Fähigkeit, nach dem jeweiligen Untergrund seine Farbe entsprechend

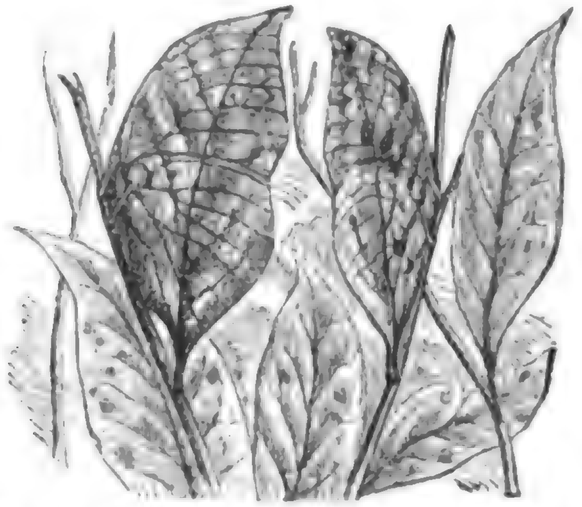


Fig. 3. Der Blattschmetterling Kallima in Ruhestellung. Aus Boas, Zoologie.

zu ändern. Diese Eigentümlichkeit ist besonders bei Wassertieren verbreitet, besonders hoch ausgebildet bei manchen Garneelen (Hippolyte), den Tintenfischen und den Schollen unter den Fischen. Von Landtieren kommt die Fähigkeit des Farbwechsels in gewissem Maße den Fröschen zu, und ist sehr entwickelt bei den Chamaeleons und der Eidechsengattung Anolis. Die Veränderung der Farbe geschieht meist durch Vergrößerung und Verkleinerung der Farbträger (Chromatophoren), zuweilen auch durch Verschiebung des Pigments nach der Oberfläche oder in die Tiefe; sie steht unter dem Einfluß des Nervensystems und wird durch die von den Augen aufgenommenen Reize geregelt. Ein Färbungswechsel ist auch der Wechsel von Sommer- und Winterkleid bei manchen Vögeln und Säugern winterweißer Gegenden; diese beruhen auf Wechsel des Gefieders oder Haarkleides an der Wende der Jahreszeiten; so beim Schneehuhn, Schneehasen, Hermelin, Eisfuchs u. a.

Eine besondere Art von Schutzfärbung und Schutzgestalt ist das, was man mit dem Namen Mimikry bezeichnet: die Nachahmung geschützter Tierformen. Es gibt Schmetterlinge, die durch üblen Geschmack vor der Verfolgung durch Vögel und Reptilien gesichert sind; hierher gehören besonders die Familien der Danaiden, Acraeiden, Ithomiiden und Heliconiden. Diesen gleichen in Flügelschnitt, Färbung und Langsamkeit des Fluges Falter aus anderen Familien, an anderem Flügelgeäder und sonstigen Baumerkmalen als solche kenntlich, die nicht ungenießbar sind, und genießen dadurch ebenfalls Schutz. So werden in Südamerika die Heliconius-Arten von Weißlingen aus den Gattungen Dismorphia, Perrhybris und Leptalis nachgeahmt (Fig. 4); die weitverbreitete

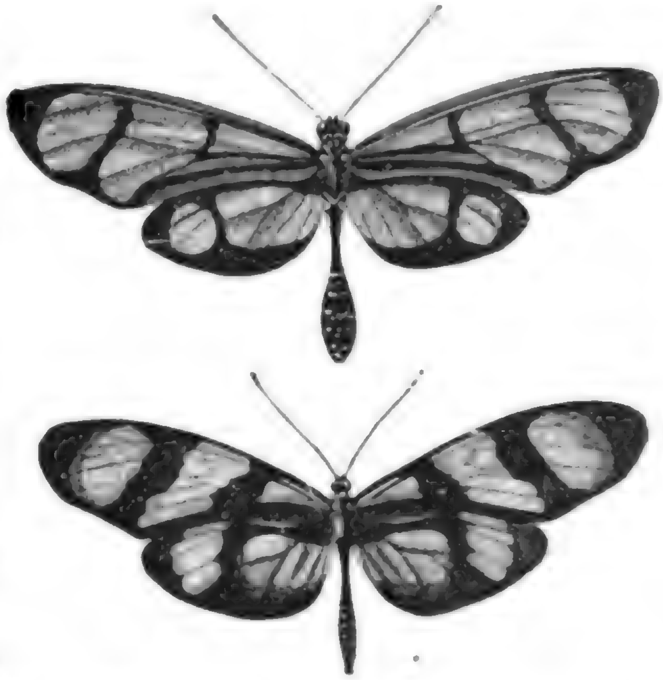


Fig. 4. Mimikry: oben eine Heliconide (Methone psidii), unten ihr Nachahmer, ein Weißling (Leptalis orise). Aus Hertwig, Zoologie.

Danais chrysippus hat an verschiedenen Orten ihres Vorkommens andere Nachahmer: so z. B. die Weibchen von Papilio merope und von Hypolimnas misippus. Unseren Hornissen gleicht der glasflüglige Schwärmer Sesia apiformis und erfährt so einen ähnlichen Schutz wie jene stachelbewehrte Form. Ameisen werden durch Spinnen, Grillen, Wanzen, Käfer nachgeahmt. Die harmlose Schlange Erythrolampus in Südamerika gleicht der in gleichen Gegenden vorkommenden Giftschlange Elaps corallinus auf das Täuschendste.

Erstaunlich ist es, daß häufig geschützte Formen untereinander gleich gefärbt sind; z. B. gleichen sich in Südamerika 20 Arten von Ithomiiden, zu 7 verschiedenen Gattungen gehörig und in derselben Gegend vorkommend, und ihnen sind noch einige Arten der ebenfalls gemiedenen Danaidengattung Ituna (und der nachahmende Weißling Dismorphia) ähnlich; eine ähnliche Genossenschaft gemiedener Formen sind Euploea midamus, binotata und viele ähnliche Arten in der ostindischen Region und ebenso steht es mit den indisch-malayischen Danaiden. Die Erklärung dafür hat Fritz Müller gegeben: jeder Schmetterlingsfeind muß für sich persönlich wieder die Erfahrung machen, daß die so gefärbten Falter ungenießbar sind; je größer daher die Menge der gleich gefärbten Formen von gleicher Ungenießbarkeit ist,

Digitized by Google

um so geringer die Verluste, um so nachhaltiger der Schutz. Eine solche Gesellschaft gleichgefärbter geschützter Formen hat man einen Mimikryring genannt. Einen solchen Ring bilden auch unsere Wespen (die Gattungen Vespa, Polistes, Odynerus und viele andere) mit ihrer gleicherweise wiederkehrenden schwarzgelben Färbung, und neben ihnen treten mancherlei genießbare Nachahmer auf. Damit die genießbaren Nachahmer von ihrer Schutztracht wirklich Vorteil haben, dürfen sie nicht zu häufig sein im Verhältnis zu ihrem Vorbild — und in der Tat verschwindet die Zahl der mimetischen Dismorphia u. a. neben der Zahl ihrer Vorbilder bei weitem. Das ist vielleicht auch die Bedeutung der oft wiederkehrenden Erscheinung, daß bei nachahmenden Arten nur die schutzbedürftigeren Weibchen, nicht auch die Männchen mimetisch sind, und daß von Papilio merope am Cap die Weibchen drei verschiedene Danaidenarten nachahmen, wobei aus einem Gelege alle drei verschiedenen Weibchen gezogen werden konnten.

Eine Grundbedingung dafür, daß diese verschiedenen Arten von Schutzfärbung und -gestalt wirksam seien, besteht darin, daß die so „geschützten" Tiere nun auch die schützende Umgebung aufsuchen. Das ist in vielen Fällen durch Beobachtung festgestellt. Vosseler sah, daß auf einem Untergrund mit verschieden gefärbten Schichten die dort ebenfalls verschiedenen, von gelb bis dunkelbraun, von kupferrot bis ziegelrot wechselnden Heuschrecken Helioscirtus caspitanus stets möglichst schnell in gleichgefärbte Umgebung zurückkehren, wenn sie aufgescheucht und versprengt werden. Doflein traf auf Martinique von drei verschieden gefärbten Arten der Eidechsengattung Anolis die grünen stets auf grüner, die braunen auf brauner Grundlage, die dritte, marmorierte Form mit Vorliebe auf Baumstämmen mit entsprechender Färbung. Grüne und braune Stücke der Gottesanbeterin (Mantis religiosa) fanden sich in 42 Fällen so verteilt, daß 12 mal grün auf grünen, 20 mal braun auf braunen Untergrund traf und nur 10 mal die Farbe des Tieres nicht zum Untergrund stimmte (Krause). Die Blattschmetterlinge Kallima sind Waldbewohner, und die mimetischen Dismorphien mischen sich, wie Bates berichtet, unter die Scharen der von ihnen nachgeahmten Heliconiden.

Besonders gesteigert wird der Schutz gegen Sicht durch Kontrastwirkung: ein aufgescheuchtes Ordensband (Catocala) wird dem Verfolger am meisten durch die hervorstechenden Farbstreifen auf den Hinterflügeln auffallen: beim Niedersetzen werden diese aber durch die darübergelegten rindenfarbigen Vorderflügel verdeckt, und der Verfolger wird vergeblich danach suchen und das Tier um so sicherer übersehen. Das gleiche gilt für die Schnarrheuschrecken, deren lebhaft rote oder blaue Hinterflügel nur im Flug sichtbar werden, sonst aber zusammengefaltet unter den braunen Vorderflügeln ruhen.

Man hat der lebhaften Färbung, die sich bei manchen geschützten Formen findet, die Bedeutung von Warnfarben zusprechen wollen, so dem leuchtenden Gelb-schwarz des Feuersalamanders, dem feurig marmorierten Bauch der Unken, dem Rot der ungenießbaren Zygaeniden, dem auffälligen Farbmuster der Heliconiden, dem vom Boden der Wüste abstechenden Schwarz der blutspritzenden Heuschrecke Eugaster guyoni. Es ist wohl möglich, daß sie Feinden leichter als unschmackhaft in Erinnerung kommen; aber solche Färbungen sind doch bei geschützten Tieren zu wenig verbreitet, als daß man ihnen eine große Wirkung beimessen darf. Jedenfalls aber darf man folgern: solche Tiere können ungestraft auffallen, weil sie wirksamen Schutz besitzen, etwa wie die Paradiesvögel in ihrer Heimat Neuguinea ungestraft solche Prachtfarben und -formen entwickeln konnten, weil dort Affen, Halbaffen, Katzen, Marder und Eichkatzen, die gefährlichsten Räuber der Waldvögel, ihrer Nester und Brut ganz fehlen (Semon).

Mit der Schutzfärbung nahe verwandt ist die Maskierung. Am ausgeprägtesten ist sie bei den oxyrhynchen Krabben, zu denen z. B. die Meerspinne (Maja squinado) gehört. Diese tragen auf ihrem Rückenschild und der Oberseite der Brustfüße einen reichen Besatz von Gegenständen tierischen und pflanzlichen Ursprungs: Stücken von Algen, meist Florideen, Schwämmen, Hydroidpolypen, Moostierchen und ähnlichem. Entkleidet man die Krabbe ihres Besatzes, so befestigt sie mit Hilfe ihrer Scherenfüße neue Deckstücke auf ihrem Körper, indem sie sie in bestimmt angeordnete Angelhäkchen einhängt und zugleich durch ein Sekret von Drüsen, die an den Mundteilen münden, festklebt. Diese „Maskierung" stimmt mit der Umgebung überein; eine mit Florideen besetzte Krabbe, in ein Aquarium mit Schwämmen eingesetzt, maskiert sich um; eine abgeleerte Krabbe, der in einem außen rot beklebten Glasaquarium weiße und rote Papierstückchen zur Verfügung stehen, heftet sich die roten Stückchen auf den Körper. Ein weniger ausgebildeter Fall von Maskierung kommt vor bei der Larve des Netzflüglers Chrysopa, dem sogenannten Blattlauslöwen: sie heftet sich die leeren Häute der ausgesaugten Blattläuse auf den Rücken und erscheint so, wenn sie still sitzt, wie ein Häufchen Schmutz. Vielleicht beruht das Kleid von Staubkörnchen, das die Larven der Wanze Reduvius personatus regelmäßig

Digitized by Google

tragen, auch auf aktiver Maskierung. Hierher zu rechnen ist auch der Instinkt des Kranichweibchens, das sich zur Brutzeit das Gefieder seines Rückens mit Moorerde einsalbt und so unscheinbar rosträtlich aussieht. Das sind alles Mittel zum Schutz vor Verfolgern; ob es auch „Wölfe in Schafskleidern" gibt?

Lediglich zum Schutz der Verfolgten dienen die Panzer, mit denen viele Tiere angetan sind: die bestachelten Kalkskelette der Stachelhäuter, die Röhren der Röhrenwürmer und Gehäuse der Bryozoen, die Schale der Schnecken und Muscheln, der Chitinpanzer der Gliederfüßler, die Hautknochenplatten vieler Fische (Stör, Panzerwelse), Reptilien (Krokodile, Schildkröten) und Säuger (Gürteltier) und das Schuppenkleid der Schuppentiere.

Ein eigenartiges Schutzmittel gegen Angriffe ist die Selbstverstümmelung oder Autotomie. Sie kommt bei zahlreichen Tiergruppen vor; hier nur einige charakteristische Beispiele. Der Süßwasserwurm Lumbriculus zerbricht auf Reize in zahlreiche Stücke, die sich wieder zu vollständigen Würmern ergänzen. Der Tintenfisch Octopus defilippii schnürt den Arm ab, an dem er ergriffen wurde. Der Schwanz der Eidechse wird auf stärkeren Berührungsreiz unter schlängelnden Bewegungen abgeworfen. Am höchsten entwickelt ist die Autotomie bei den Krabben, wo an den Beinen die Stelle des Abbrechens vorgebildet ist: die Cuticula ist hier unverkalkt, ein besonderer „Brechmuskel" bewirkt den Bruch, und ein Septum vor der Bruchstelle verhindert gefährliche Blutungen; der ganze Akt der Verstümmelung steht unter der Herrschaft des Nervensystems: geköpfte Krabben autotomieren wie unverletzte, aber Zerstörung des Bauchmarks verhindert die Autotomie.

Die verschiedenen Schutzmittel ergänzen sich gegenseitig: die giftigen Kröten sind langsam, die Frösche gewandt; die durch Gestalt und Färbung geschützten Stabheuschrecken und Chamaeleons sind träge, die Grashüpfer und Eidechsen schnell; die nicht fliegenden Rüsselkäfer haben einen harten Panzer, die guten Flieger dieser Gruppe dagegen sind meist viel weicher.

ε) Biocoenosen. Die Lebewesen eines Bezirkes hängen aufs engste zusammen durch eine Menge von Beziehungen; die Tiere sind auf Pflanzen, viele Pflanzen wiederum auf bestimmte Tiere angewiesen, ohne die sie nicht existieren können. Die Anpassungen des Räubers sowohl wie des Beutetiers ermöglichen es, daß sie dauernd nebeneinander bestehen, ohne daß der Verfolger die Verfolgten ausrottet oder selbst Hungers stirbt, weil er sie nicht erlangen kann. In der Lebewelt eines Bezirks herrscht gewöhnlich ein Zustand des Gleichgewichts, zu dessen Erhaltung alle beitragen müssen; tritt irgendwo eine Störung ein, so zieht dieselbe merkliche Veränderungen nach vielen Seiten nach sich. Sehr schön erhellt die Vielseitigkeit der Zusammenhänge aus folgendem Beispiel Darwins: der Klee ist für seine Bestäubung auf den Besuch der Hummeln angewiesen und bringt ohne diese keinen Samen, muß also zugrunde gehen, wo jene fehlen (wie früher in Neuseeland, ehe man dort Hummeln einführte); den Hummelnestern wird von Mäusen eifrig nachgestellt; diese sind in der Nähe der Dörfer weniger häufig der Katzen wegen; also gedeihen dort die Hummeln besser und so auch der Klee! So hängen die nebeneinander existierenden Lebewesen allesamt durch tausend Bande zusammen, sie bilden eine Lebensgemeinschaft, eine Biocoenose, deren Zusammensetzung sich nach den physikalisch-chemischen Bedingungen der Oertlichkeit richtet, die aber innerlich durch eine Art Selbststeuerung stets ihre Geschlossenheit wahrt. Fortfall eines Gliedes oder Eintreten eines neuen stört die Lebensgemeinschaft in ihrem Gleichgewicht: König Karl von Neapel wollte auf der Insel Procida eine Fasanerie einrichten und verbot daher das Halten von Katzen; binnen kurzem nahmen Ratten und Mäuse so überhand, daß selbst das Kind in der Wiege nicht mehr sicher war — und damit noch viele andere Lebewesen in ihrem Bestande bedroht waren. Oder: auf den Hawaischen Inseln hatte sich eine neueingeführte Pflanze, Lantana camara, auf Kosten anderer sehr ausgebreitet, indem sie durch ihr dichtes Laub alle Vegetation erdrückte; sie konnte erst erfolgreich bekämpft werden durch Einführung ihres Hauptfeindes aus ihrer Heimat Mexiko, einer Fliege Agromyza, deren Larven ihre Samen zerstören. Aus Europa sind nach Amerika zwei Schmetterlinge aus der Gruppe der Spinner, der Schwammspinner (Liparis dispar) und der Goldafter (Liparis chrysorrhoea) eingeschleppt worden und haben sich zu einer großen und kostspieligen Plage entwickelt, da dort ihre kleinen Feinde, ihre Schlupfwespen und Raupenfliegen, fehlen, die bei uns drei Viertel der Nachkommenschaft vernichten: ganze Wälder sind zugrunde gerichtet und damit die Vermehrung anderer Schädlinge, z. B. der Borkenkäfer, vorbereitet, während andererseits Blattwespen, Spechte und viele andere Kostgänger der Bäume damit ihrer Nahrung und ihres Unterschlupfs beraubt werden.

2. Das Tier und seine leblose Umgebung. Soweit Leben auf der Erde überhaupt möglich ist, findet man auch Lebewesen verbreitet, an der Grenze des ewigen Schnees im Hochgebirge und in der brennen-

Digitized by Google

den Hitze der Wüste, im heißen Quell und in den kalten und dunkeln Tiefen des Weltmeeres. Aber je nach ihrem Wohnplatz sind die Lebewesen verschieden organisiert; um unter den dort vorhandenen Bedingungen bestehen zu können, müssen sie bestimmten Anforderungen genügen, und ihren Leistungen sind durch die Besonderheiten ihres Wohnplatzes gewisse Grenzen gezogen.

Der normale Ablauf der Lebenserscheinungen ist nur möglich, wenn gewisse äußere Bedingungen erfüllt sind. Vor allem ist Feuchtigkeit dazu notwendig, und dann eine bestimmte Temperatur; Licht, das ja für die grünen Pflanzen unumgängliches Lebensbedürfnis ist, kann bei dem tierischen Leben zuweilen entbehrt werden. Die Flüssigkeit, in der sich die Lebensvorgänge am Protoplasma abspielen, muß eine gewisse Menge von Salzen enthalten, damit nicht der lebenden Substanz durch Osmose die ihr nötigen Salze entzogen werden. Die Grenzen der Temperatur, welche Leben gestattet, sind nach unten gegeben durch den Gefrierpunkt des Wassers (nicht 0° C, sondern je nach dem Salzgehalte des Wassers auch niedrigere Temperatur) und nach oben mit etwa + 45° für Metazoen und + 55° für Protozoen. Das Optimum der Temperatur ist für verschiedene Lebewesen verschieden; es liegt z. B. für die Entwickelung der Forelleneier tiefer als + 10°, für die Froscheier bei 22°, für das Hühnerei bei 39° C. Die günstigsten Bedingungen für das tierische Leben sind also ein Salzwasser von bestimmter molekularer Konzentration, etwa Meerwasser, und mit einer konstanten Temperatur zwischen 20° und 30°. Jede Abweichung davon erfordert gewisse Anpassungen. Am günstigsten für das Gedeihen tierischen Lebens sind die tropischen Meere, in denen diese Bedingungen am besten erfüllt sind. Je mehr die Daseinsbedingungen von einem Optimum ständig oder zeitweilig abweichen, um so mehr besondere Einrichtungen (Anpassungen) sind erforderlich, um trotzdem das Leben zu ermöglichen, und um so weniger Tiere werden dort bestehen können: es kommt zur Verarmung der Fauna.

2a) Der Einfluß des umgebenden Mediums. Der Einfluß des Mediums tritt in erster Linie bestimmend und auslesend ein für die Tiere, die es bewohnen. Man kann im allgemeinen scheiden zwischen Wassertieren und Lufttieren. Das Wasser ist die Urheimat des Lebens und bietet alle Bedingungen, die das Leben fordert, am vollkommensten. Aber das Leben in der Luft bietet für die Tiere einen wichtigen Vorteil, das ist die größere Menge des vorhandenen Sauerstoffs: in 1 l atmosphärischer Luft sind 209 ccm Sauerstoff enthalten, in 1 l Flußwasser sind etwa 7 ccm Sauerstoff gelöst. Diese größere Sauerstoffmenge ermöglicht eine intensivere Zerlegung der Nährstoffe und damit die Entfaltung einer gesteigerten Lebensenergie. Zugleich bietet das Land eine Fülle verfügbarer Nährstoffe in seiner gewaltig entwickelten Pflanzenwelt. Es haben sich daher viele Tiere die Vorteile des Luftlebens zunutze gemacht. Dazu ist aber die notwendige Vorbedingung, daß der lebenden Substanz das ihr zusagende Medium, eine Salzlösung von einer bestimmten Konzentration, etwa 4 bis 6% Kochsalz entsprechend, erhalten bleibt, daß also die Körperflüssigkeit vor dem Verdunsten bewahrt bleibt, d. h. das Tier vor dem Vertrocknen geschützt ist. Das kann in verschiedenem Maße der Fall sein: bei den Feuchtlufttieren ist ein Leben in einer an Wasserdampf reichen Luft möglich, aber sie gehen zugrunde, wenn sie in trocknere Luft kommen und sind so bei der Wahl ihrer Wohngebiete sehr beschränkt; die Trockenlufttiere sind so organisiert, daß auch bei geringem Wasserdampfgehalt der Luft ihre Gewebe gegen das Vertrocknen geschützt sind. Indem die entsprechenden Anpassungen nicht bei allen Tierformen auftreten können, sondern auf wenige Tierkreise beschränkt sind, kann man die Bewohnerschaft der Luft gegenüber der des Wassers als verarmt bezeichnen, obgleich sie an Artenzahl diese bei weitem übertrifft. Trockenlufttiere kennen wir nur aus den Tierkreisen der Gliederfüßler und Wirbeltiere; bei ihnen ist die Körperoberfläche geschützt entweder durch einen festen Chitinpanzer, oder durch eine dicke Hornschicht ihrer Oberhaut. Aber nur diejenigen Gliederfüßler und Wirbeltiere können in trockener Luft bestehen, bei denen auch die großen dünnhäutigen Oberflächen der Atmungsapparate vor dem Vertrockenen bewahrt sind, und das geschieht durch Verlagerung derselben in das Innere des Körpers (Luftröhren, Lungen), während sie bei den Wassertieren als Kiemen allermeist nach außen entwickelt sind. Wenn aber die Chitinhülle oder die Hornschicht nicht dick genug sind, ist auch ihnen nur ein Feuchtluftleben möglich (Eintagsfliegen, Amphibien). Aber es sind auch in andern Tierkreisen gleichsam Versuche gemacht, sich dem Luftleben anzupassen, meist aber haben sie nur zu einer Existenzfähigkeit in feuchter Luft geführt: unter den Plattwürmern sind die Landplanarien, unter den Ringelwürmern die Regenwürmer und Egel ans Land gegangen; die Schnecken nutzen ihr schützendes Gehäuse auch als Schutz gegen Trockenheit aus, passen ihren Atmungsapparat an (Lungenschnecken) und verschließen in Zeiten der Trockenheit ihr Haus mit einem Schleimdeckel, um zu günstiger Zeit dann die Fülle der Vorteile des Landlebens auszunützen. Auch manche Krebse sind Lufttiere geworden:

Digitized by Google

Feuchtlufttiere sind die Asseln, ihr Atmungsapparat ist ungenügend geschützt; aber durch engen Abschluß ihrer Atemhöhle konnte eine Anzahl zehnfüßiger Krebse (Anomuren und Krabben, z. B. Birgus latro und Gecarcinus) ganz zu Bewohnern der trockenen Luft werden, die nur noch für die Unterbringung ihrer Jungen an das Wasser gebunden sind. Auch manche Fische haben Einrichtungen zur Veratmung atmosphärischer Luft bekommen: der Schlammpeitzger veratmet sie im Darm, die Labyrinthfische in einem Anhangsraum ihrer Kiemenhöhle; aber nur die Atmungsweise der Dipnoer, die sich der Schwimmblase als Atmungsorgan bedienen, wurde allgemeiner und bot die Grundlage für weitere Entwickelung: die Schwimmblasen wurden durch reiche Blutversorgung und Oberflächenvergrößerung zu Lungen.

Die Verschiedenheit der Bedingungen, die das Wasser als umgebendes Medium bietet, beziehen sich teils auf seinen Chemismus, d. h. seinen Gehalt an Salzen und anderen löslichen Stoffen, teils auf seine physikalischen Zustände, seine Bewegung, seine Temperatur, seine Druck- und Lichtverhältnisse.

α) Einfluß des Chemismus des Wassers. Bei den wirbellosen Tieren des Meeres ist die molekulare Konzentration und der Salzgehalt der Körperflüssigkeit denjenigen des umgebenden Wassers gleich, so daß die Zusammensetzung der Körperflüssigkeit nicht durch osmotische Strömungen verändert wird. Bei den Haifischen ist der osmotische Druck des inneren Mediums ebenfalls dem des Meerwassers gleich, aber der Salzgehalt ist ein geringerer, und es kommt ergänzend ein ungewöhnlich hoher Gehalt von organischen Substanzen (harnsauren Salzen) in Blut und Lymphe hinzu. Kommen solche Tiere in Wasser von geringerem Salzgehalt, in Brak- und Süßwasser, so müssen meist osmotische Strömungen zwischen Körperflüssigkeit und umgebendem Wasser auftreten, die zu einer Veränderung in der Zusammensetzung der Körperflüssigkeit führen — wenn nicht besondere Schutzmittel diese Osmose verhindern. Daher gehen viele Meerestiere zugrunde, wenn sie in Süßwasser gebracht werden; nur solche, bei denen durch undurchlässige oder halbdurchlässige Membranen derartige Strömungen verhindert sind, können auch im süßen Wasser leben, z. B. der Flußkrebs oder die Teichmuschel, bei denen die molekulare Konzentration und der Salzgehalt des Blutes sehr von denen des umgebenden Wassers abweichen. Das gleiche findet auch bei den Knochenfischen statt, sowohl bei denen des Meeres wie bei denen des süßen Wassers. Zum Leben im Süßwasser sind also von vornherein gewisse Baubesonderheiten erforderlich, bestimmte Anpassungen, und da nicht alle Tiere dieser Anpassungen fähig sind, ist die Süßwasserfauna ihrem Formenreichtum nach gegenüber der Meeresfauna verarmt. Und zwar sind es besonders die höheren Tierkreise, die im Süßwasser vertreten sind: Stachelhäuter und Manteltiere fehlen ganz, Coelenteraten sind ganz wenige, Würmer nur in geringer Zahl ans Süßwasser angepaßt, etwas mehr dagegen Mollusken, am meisten Gliederfüßler und Wirbeltiere. Andererseits sind aber auch viele Süßwassertiere oder mindestens ihre Entwickelungszustände gegen den Einfluß des Seewassers sehr empfindlich; der Lachs kann sowohl im Salz- wie im Süßwasser leben, seine Eier aber gehen im Salzwasser zugrunde. Manche allerdings können Salz- und Süßwasser in gleicher Weise ertragen, z. B. der Krebs Palaemonetes und unter den Fischen die Stichlinge, der Stint u. a. „Je mehr sich ein Organismus vervollkommnet, um so mehr isoliert sich sein inneres Medium gegen sein äußeres Medium" (Fredericq.)

Aehnliche Verhältnisse liegen vor bei Steigerung des Salzgehaltes über den des Meerwassers. Es ist nur eine sehr beschränkte Zahl von Tieren, die eine bedeutendere Steigerung aushalten, z. B. das Krebschen Artemia salina; obenein scheint diese Veränderung bei den Tieren, die sie vertragen können, Bildungshemmungen hervorzurufen: bei Artemia nimmt die Größe der Tiere und die Beborstung ihres Abdomens mit steigendem Salzgehalt des Wassers mehr und mehr ab.

Im Meere ist die chemische Beschaffenheit des Wassers im allgemeinen gleichartig; es sind große Becken, in denen durch die Gezeiten, Strömungen und Stürme Durchmischungen bewirkt werden; nur kleine, abgeschlossene Meeresteile wie Ostsee oder Mittelmeer zeigen Abweichungen. Anders im Süßwasser; hier sind kleine gesonderte Wasserbecken und Wasserläufe ohne Zusammenhang vorhanden, in denen je nach der Beschaffenheit des Untergrunds und der Vegetation die Beimischungen des Wassers verschiedene sind. Daher finden wir bei den Süßwassertieren auf verhältnismäßig engem Raum eine viel größere Varietätenbildung als bei Meerestieren: die verschiedenen Arten der Teichschnecken (Limnaea), die Teichmuscheln (Anodonta) und die Wasserflöhe (Daphnia u. a. s. Abb. 5) sind dafür bekannte Beispiele; die Felchen (Coregonus) und die Krebschen der Gattung Bosmina (Abb. 5, 3 u. 4) sind in den subalpinen Seen so variabel, daß fast jeder See seine besondere Varietät von beiden hat. Im Süßwasser sind zuweilen noch besondere Beimischungen enthalten, wie Schwefelwasserstoff, Sumpf-

Digitized by Google

gas, Humussäuren in Torfgräben u. dgl. Solche Beimischungen rufen eine Verarmung der Tierwelt hervor, da nicht viele Tiere die nötigen Anpassungen besitzen, um sie zu ertragen. So verhalten sich die Fische sehr verschieden gegen Humussäuren: widerstandsfähig sind Stichlinge, Schlammpeitzger, Moderlieschen, Bitterlinge, Giebel und Schleien; empfindlicher zeigen sich Karpfen und Karauschen, während Forellen und Hechte davon schnell zugrunde gehen.

Die gesteigerten Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit der Tiere, die das Süßwasser stellt, haben eine Verarmung an Tierformen, damit aber auch eine Milderung des Konkurrenzkampfs der Lebewesen zur Folge. So ist es vielleicht zu erklären, daß manche letzte Reste von einst blühenden Stämmen von Meeresbewohnern jetzt im Süßwasser, soweit sie dasselbe vertragen konnten, eine Zuflucht gefunden haben, wie die Petromyzonten, Ganoiden und Dipnoer.

Mit den Verschiedenheiten im Chemismus von Süß- und Salzwasser hängen noch eine Anzahl sichtbarer körperlicher Unterschiede ihrer Bewohner zusammen. Unsere Stichlinge (Gasterosteus pungitius und aculeatus) kommen im Süß- wie im Salzwasser vor und bei beiden Arten ist die Salzwasserform schlanker, hat längere Stacheln und ist mit Kielplatten an den Körperseiten besetzt. Bei manchen Tieren, die zugleich in Salz-, Brak- und Süßwasser vorkommen, hat man beobachtet, daß mit Abnahme des Salzgehalts ihre Eier größer werden, z. B. bei der Garneele Palaemonetes varians, bei Schollen, Dorsch, Sprott, Trigla und anderen Fischen (in der Nord- oder Ostsee). In dotterreicheren Eiern führt die Entwickelung zu weiter fortgeschrittenen Jungen und so zur Unterdrückung von Larvenstadien — hier liegt wohl eine der Ursachen, auf die das Vorherrschen direkter Entwickelung bei Süßwassertieren zurückzuführen ist.

β) Einfluß der physikalischen Beschaffenheit des Wassers. Wegen der Größe und beständigen Durchmischung des Meeres sind die Temperaturen in bestimmten Regionen sehr konstant, besonders im Oberflächenwasser der Tropen und in den kalten Meeren; aber auch in den gemäßigten Zonen sind die Schwankungen immerhin geringe. Anders im Süßwasser, besonders bei kleinem Umfang und geringer Tiefe der Wasserbecken und -läufe; hier gehen nicht nur mit den wechselnden Jahreszeiten, sondern auch mit dem Wechsel von Tag und Nacht Schwankungen der Temperatur einher, die oft sehr bedeutend sind; wir werden auf ihre Wirkung unten bei den Schwankungen der klimatischen Bedingungen eingehen. Nur im Süßwasser, nämlich in heißen Quellen, finden sich Temperaturen von über 40°; einer solchen Temperatur können sich nur wenige Tierarten anpassen, besonders Protozoen und Rädertiere — diese sind dann aber, da Konkurrenz und Feinde nicht zahlreich sind, in großer Individuenzahl vorhanden.

Besondere Anpassungen erfordert das Leben im bewegten Wasser. Im Meere sind es besonders die in der Gezeitenzone lebenden Tiere, die solche Anpassungen zeigen. Gegen Verletzungen sind sie oft durch besonders stark ausgebildete Gehäuse und Schalen geschützt, z. B. die Schnecken Patella und Littorina, die Muschel Cardium, unter den Cirripedien die Seepocken (Balanus). Ferner sind sie vielfach dauernd festsitzend (Seepocken; Austern, Anomia) oder in Schlupfwinkeln geborgen, die manche selbst anlegen (Bohrmuscheln, bohrende Seeigel) oder sie besitzen starke Haftapparate zur Anheftung an den Boden (die Schnecken Chiton, Patella, Haliotis; viele Seerosen). Im Süßwasser ist es die Strömung schnellfließender Wasserläufe, besonders der Gebirgsbäche, die ähnliche Anpassung verlangt: geringe Körpergröße gibt vermehrte Gelegenheit, Schlupfwinkel aufzusuchen; dorsoventrale Abplattung bei Planarien, Wassermilben und manchen Insektenlarven vermindert die Angriffspunkte für die Strömung; Köcherfliegen und Mückenlarven befestigen ihre Gehäuse durch Anspinnen an Steine; andere verankern sich durch Saugapparate (Sohle der Schnecke Ancylus; Saugnäpfe bei Insektenlarven und bei dem Panzerwels Placostomus in Mittelamerika).

Auch das Leben im freien Wasser, fern vom Ufer und Grund, ist an bestimmte Bedingungen geknüpft. Die Angehörigen dieser Schwebefauna, des tierischen Plankton, zeigen gleichsinnige Anpassungen, vor allem Ausbildung von allerhand Schwebevorrichtungen, durch welche die aktive Schwimmfähigkeit unterstützt oder ersetzt wird (vgl. den Artikel „Süßwasserfauna"). Ebenso haben die Bewohner der dunkeln, kalten Tiefsee gemeinsame, durch ihren Aufenthalt bedingte Eigentümlichkeiten, die an anderer Stelle (vgl. den Artikel „Tiefseefauna") ausführlich besprochen sind.

γ) Rückanpassung von Lufttieren an das Wasserleben. Besondere Bedingungen liegen im Wasser für diejenigen Tiere vor, die, von Luftbewohnern herstammend, sekundär wieder zum Wasserleben übergegangen sind, meist um sich die im Wasser vorhandenen Nahrungsquellen zu erschließen. Es handelt sich dabei um Formen aus dem Kreise der Weichtiere (Lungenschnecken), der Insekten und Spinnentiere, und der fingertragenden Wirbeltiere. Ueberall läßt sich zunächst feststellen, daß sie den Vorteil

Digitized by Google

der Luftatmung nicht aufgeben: die Schnecken und Wirbeltiere behalten ihre Lunge, die Insekten und Spinnentiere ihre Tracheenatmung bei. Aber es kommt dabei nicht selten zu besonderen Anpassungen, die den eigenartigen Lebensverhältnissen Rechnung tragen. Am mannigfaltigsten ist die Atmungsweise der Wasserinsekten und ihrer Larven. Bei letzteren ist das Luftröhrensystem oft für die Veratmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs eingerichtet, indem sich ein Netz von Luftkapillaren in dünnhäutigen Körperanhängen (Tracheenkiemen) verbreitet, so bei den Larven der amphibiotischen Pseudoneuropteren, der Köcherfliegen und einiger Schmetterlinge. Oder ein Stigmenpaar ist so angebracht, daß es leicht der Wasseroberfläche genähert werden kann, meist am Hinterende (viele Fliegenlarven, Dytiscuslarve u. a.; Wasserskorpion). Oder die fertigen Insekten haben Einrichtungen, um Luft von der Oberfläche mit in das Wasser zu nehmen, an ihrer behaarten Bauchseite (viele Wasserwanzen, Hydrophilus) oder unter den Flügeldecken (Dytisciden). Zuweilen tritt neben dem Luftatmungsapparat ergänzend die Wasseratmung ein: Kapillaransammlungen um die Zähne des Ober- und Unterkiefers, die wie Kiemen funktionieren, bei der Seeschlange Hydrus und anderen, oder zottige, blutreiche Fortsätze im Maule mancher Weichschildkröten (Amyda, Aspidonectes). Auch Beibehaltung larvaler Kiemen bei Amphibien, die zeitlebens im Wasser bleiben (Proteus, neotenische Tritonlarven), gehört hierher. Weitere Anpassungen von Lufttieren an das Wasserleben sind vor allem die Umbildung der Gliedmaßen zu Rudern (Schwimmbeine bei Dytiscus und anderen Insekten, bei Wassermilben, bei Wasserschildkröte; Flügel beim Pinguin und den Steißfüßen; unpaares Schwanzruder der Wale; Abplattung des Schwanzendes bei der Wasserschlange Hydrus platurus u. a.); ferner Entfernung der Reibungswiderstände (Scharfkantigkeit bei Wasserkäfern, Naucoris u. a.; Umbildung des Gefieders beim Pinguin und den Tauchern; Verkürzung der Vordergliedmaßen, Verlust der Hintergliedmaßen und der Haare bei Haien); ferner bei den Warmblütern Wärmeschutz durch Fettlagen unter der Haut (Pinguin; Wale, Sirenen und Robben) und manches andere.

Was die Fortpflanzung der wasserbewohnenden Amnioten betrifft, so sind die eierlegenden unter ihnen gezwungen, zur Brunstzeit das Land aufzusuchen; Viviparität bei Seeschlangen und Ichthyosauriern mag als Anpassung an dauerndes Wasserleben gelten. Von den Säugern verlassen die Robben zur Brunstzeit das Wasser.

2b) Einfluß des Lichtes. Versuche zeigen, daß intensive Beleuchtung auf die lebende Substanz nachteilig einwirkt. Somit erscheint die Färbung der Oberfläche bei den Tieren als ein Schutz gegen die Schädigung durch zu helles Licht. Bei scheckigen Kühen können sich beim Weidegang unter dem Einfluß der Belichtung die weißen Hautstellen entzünden und nekrotisch werden, während die farbigen völlig unversehrt bleiben. Licht ist andererseits vielfach die unmittelbare Ursache für die Bildung von Pigment: der weiße Grottenolm wird dunkel pigmentiert, wenn er im Hellen gehalten wird, und durch Belichtung der Unterseite der Flunder in einem Glasaquarium wird diese dunkel. Auch beim Menschen bildet sich unter dem Einfluß des Sonnenlichts nach voraufgehender Entzündung ein Schutz der Haut durch Ablagerung braunen Farbstoffes aus. Freilich gibt es noch andere Ursachen für Pigmententwickelung. An Wohnplätzen dagegen, wohin kein Licht gelangt, können die Tiere ohne Schaden den Farbstoff entbehren, so die Innenschmarotzer und die Höhlentiere.

Mit dem Lichtmangel hängen noch andere Anpassungen der Bewohner dunkler Höhlen zusammen. Bei vielen Höhlentieren sind die Sehorgane zurückgebildet, so bei Planaria cavatica, Asellus cavaticus, bei den Höhlenschnecken der Gattung Vitrella, bei vielen Höhleninsekten, bei den Höhlenfischen (Amblyopsiden) Amerikas und dem Grottenolm (Proteus) der Karsthöhlen. Für den mangelnden Gesichtssinn müssen dann andere Sinnesorgane stellvertretend eintreten: bei der Höhlenassel z. B. sind die Riechkolben auf den Fühlern länger als bei der Wasserassel, bei Höhlenspinnen sind die Beine verlängert und dienen als Tastapparate. Es konnten sich von vornherein an das Leben in dunkeln Höhlen nur solche Tiere anpassen, die sich auch ohne Hilfe der Sehorgane orientieren, d. h. ihresgleichen und ihre Nahrung auffinden konnten. Die Höhlenheuschrecken z. B. sind durchweg Locustiden, mit stark ausgebildeten Riechorganen (Fühlern); Acridier mit ihren kurzen Fühlern sind nirgends zu Höhlentieren geworden. Da ferner infolge des Lichtmangels in Höhlen keine grünen Pflanzen wachsen können, sondern nur Saprophyten wie Pilze, so sind die Höhlentiere teils Pilzfresser, teils Räuber, die von anderen Höhlentieren leben.

Durch den periodischen Wechsel von Licht und Dunkelheit wird für viele Tiere eine Periodizität in ihren Lebensäußerungen herbeigeführt, die bei den verschiedenen Formen überaus wechselnd, bald deutlicher, bald weniger deutlich in die Erscheinung tritt. Bei der Schwebefauna des Wassers z. B. findet bei Tag ein Hinabsteigen in größere Tiefen, bei Nacht ein Aufsteigen an die Oberfläche statt. Bei den höheren Wirbel-

Digitized by Google

tieren und vielen Arthropoden äußert sich die Periodizität in einem Wechsel von Ruhe und Lebhaftigkeit (Schlaf und Wachen). Ob das Wachen mit Licht oder Dunkelheit zusammenfällt, hängt von der Natur des betreffenden Tieres ab: die Vögel, die sich vorwiegend mit den Augen orientieren, sind zum größten Teil Tagtiere, während bei den Säugern, welche Riechtiere sind, sich also im Dunkeln gut zurechtfinden, eine überwiegende Zahl nächtlich lebt.

2c. Einfluß des Klimas und seiner Komponenten. Für die Meerestiere sind die Einflüsse, die man als Klima zusammenfaßt, ganz ohne Bedeutung; etwas mehr machen sie sich in größeren Süßwasserbecken bemerklich. Nur für die Landtiere aber und für die Bewohner kleiner Binnengewässer kommt jener Wechsel der Temperatur, Sonnenbestrahlung, Feuchtigkeit, Luftbewegung zu voller Bedeutung und hat mannigfache Anpassungen im Gefolge.

a) Temperatur. Bei weitaus der überwiegenden Mehrzahl der Tiere weicht die Innentemperatur nur wenig von derjenigen der Umgebung ab und ändert sich im gleichen Sinne wie diese. Nur dann, wenn bei schneller Bewegung in den Muskeln Wärme entwickelt wird, kann es zu bedeutenderen Unterschieden kommen; so ist z. B. beim fliegenden Windenschwärmer die Temperatur des Thorax fühlbar höher als die der Luft, und die Temperatur im schwimmenden Thunfisch übertrifft die des umgebenden Wassers um 10° C. Solche Tiere heißen wechselwarm, poekilotherm („Kaltblüter"). Vögel und Säuger jedoch sind eigenwarme homöotherme Tiere („Warmblüter"); bei ihnen ist die Innentemperatur fast ganz unabhängig von der der Umgebung und wird durch Stoffwechselvorgänge auf einer ganz bestimmten Höhe erhalten, die für die verschiedenen Arten zwischen 35,5° und 44° wechselt, aber innerhalb derselben Art im allgemeinen nur in engen Grenzen schwankt. Durch Regulationseinrichtungen verschiedener Art wird die Konstanz der Temperatur gewährleistet, bei Säugern vor allem durch Eintreten von Schweißabsonderung bei zu großer Erwärmung und durch Verengerung der peripheren Blutgefäße und damit Verminderung der Wärmeabgabe bei niederer Außentemperatur. Dadurch werden diese Tiere von dem Wechsel der Außentemperatur in hohem Grade, wenn auch nicht ganz, unabhängig und können Temperaturen trotzen, die weit unter ihrem Optimum liegen, wenn sie nur genügend Nahrung finden oder gespeicherte Vorratsstoffe besitzen, um Stoffwechselwärme zu produzieren. Das Winterleben außerhalb des Wassers wird in unseren Breiten fast ganz von eigenwarmen Tieren bestritten. Uebergänge zum poekilothermen Zustande stellen die Kloakentiere dar, bei denen die Körpertemperatur in weiten Grenzen (um 7 bis 8° und mehr) schwankt und andererseits produzieren die „brütenden" Riesenschlangen nach der Eiablage eine gesteigerte Temperatur durch Stoffwechselvorgänge.

Niedere Temperatur verlangsamt alle Lebensvorgänge. Daher sind die poekilothermen Tiere bei Temperaturerniedrigung im allgemeinen wenig beweglich und versinken schließlich in Starrezustand. Geht die Abkühlung so weit, daß die Körpersäfte des Tieres völlig gefroren sind, dann ist ein Wiederaufleben des Tieres unmöglich. Dies völlige Durchfrieren tritt um so schwerer ein, je wasserärmer ein Tier oder ein Zustand eines solchen ist und je konzentrierter somit die Lösungen in ihm sind; daher leiden z. B. Insekteneier und Insektenpuppen im allgemeinen weniger unter Kälte als fertige Insekten. Dagegen können Tiere, die in einen Eisklumpen eingefroren waren, wieder zum Leben kommen, wenn die Säfte in ihrem Innern dabei nicht erstarrt waren (Egel, Wasserwanzen, Frösche). Die Entwickelung von Eiern wird durch niedere Temperatur verlangsamt: so brauchen die Dorscheier bis zum Ausschlüpfen bei einer Wassertemperatur von + 7,5° C 13 Tage, bei 0,5° 34 Tage; ebenso die Vermehrung der Infusorien: Dileptus teilt sich bei 25° dreimal so oft am Tage als bei 19°, und bei 12° sinkt die Vermehrung rapid

Hohe Temperaturen sind für die Tiere im allgemeinen gefährlicher als niedrige. Säuger können durch reichliche Schweißabsonderung ihre Eigentemperatur eine Zeitlang unter der Temperatur der Umgebung halten, aber nur in trockener Luft, wo der Schweiß verdunsten kann; in feuchter heißer Luft gehen sie schnell zugrunde. Poekilotherme Tiere fallen bei Temperaturen um 50° C in Wärmestarre und sterben schließlich.

Die günstigste, optimale Temperatur ist für verschiedene Tiere verschieden. Für manche Tiere kann die Temperatur innerhalb weiter Grenzen schwanken, ohne daß sie geschädigt werden; sie werden als eurytherm bezeichnet, z. B. Daphnia cucullata Artemia salina, Aal, Distelfalter. Anderen dagegen sind enge Grenzen gezogen in bezug auf die Temperatur, die sie ertragen können, sie heißen stenotherm, und zwar kann man wieder stenotherme Kältetiere (Planaria alpina, Lepidurus apus, Forelle, Schnecke Vitrina) und stenotherme Wärmetiere (Karpfen, Mauereidechse) unterscheiden.

Bei manchen Tieren üben gewisse extreme Temperaturen spezifische Wirkungen aus. So können die Eier der Phyllopoden sich nur entwickeln, wenn sie entweder eingefroren

Digitized by Google

(bei den Kaltwasserformen, z. B. Lepidurus apus) oder eingetrocknet waren (bei den Warmwasserformen, z. B. Apus cancriformis). Aehnliches ist vielleicht der Grund dafür, daß die Südostgrenze für das Vorkommen des Schmetterlings Colias hyale, der sonst auch auf den europäischen Gebirgen vorkommt, in der Ebene mit der Januarisotherme für — 1° zusammenfällt; der Schmetterling selbst fürchtet die Sommerhitze nicht — wahrscheinlich brauchen seine Eier intensive Kälte. In eigenartiger Weise wirken hohe und niedere Temperaturen verändernd auf die Farben der Schmetterlinge ein, wenn man sie auf die Puppe bald nach der Verpuppung zur Anwendung bringt: man kann so aus deutschen Raupen z. B. von Vanessa urticae durch Kälte die im Norden (var. polaris aus Lappland), durch Wärme die im Süden (var. ichnusa aus Korsika) fliegenden Formen züchten, ja in manchen Fällen sogar Farbabweichungen erzielen, die in der freien Natur gar nicht vorkommen.

β) Luftfeuchtigkeit. Ein höherer Grad von Luftfeuchtigkeit zusammen mit Wärme (20 bis 30°) ist für die Entwickelung eines reichen Tierlebens günstig. Denn dadurch wird einer großen Reihe von Lufttieren, die nicht genügend gegen Verdunstung geschützt sind, das Vorkommen ermöglicht, so den Landplanarien und Landblutegeln, vielen Schnekken, besonders den Nacktschnecken, Asseln und dünnhäutigen Insekten wie Eintagsfliegen und unter den Wirbeltieren den Amphibien. Je mehr der Wasserdampfgehalt der Luft sinkt, um so mehr muß die Tierwelt an Formenfülle verarmen und sich auf Insekten, Spinnentiere und höhere Wirbeltiere von den Reptilien aufwärts beschränken, wie in der Wüste. Zusammenhang erhöhter Luftfeuchtigkeit mit bestimmten Varietätenbildungen ist mehrfach beobachtet: es sollen albinistische Formen dadurch hervorgerufen werden, Melanismus z. B. bei der Nacktschnecke Arion empiricorum, bei Helix arbustorum, bei der Bergeidechse Lacerta vivipara sowie unter den Säugern bei der wasserbewohnenden Varietät von Arvicola terrestris, die gegenüber der wechselnd gefärbten landbewohnenden Scheermaus stets viel dunkler gefärbt ist und vielen anderen; Albinos sollen bei Gehäuseschnecken in feuchten Jahren häufiger sein als in trockenen.

γ) Bewegung der Luft. Bewegte Luft hat viel weniger Einfluß auf die Tierwelt als bewegtes Wasser, da die Bewegung hier nur in den seltensten Fällen ununterbrochen ist. Schwächere fliegende Tiere, wie die meisten Insekten, halten sich eben bei Wind verborgen. Nur auf kleineren Inseln, die in Zonen beständigen Windes liegen, wie Kerguelen und andere, zeigt sich infolge der stürmischen Atmosphäre in der Insektenwelt das Ueberwiegen ungeflügelter Formen: flügellose Fliegen, Schmetterlinge, Käfer und andere; von den 550 Käferarten Madeiras haben 200 so unvollkommene Flügel, daß sie nicht fliegen können; am schmalen Küstensaum und auf den Schären Ostgrönlands fällt die große Armut an geflügelten Insekten auf gegenüber dem apern Gebiet, besonders den 700 bis 800 m hohen Plateaus. Wahrscheinlich haben wir es mit dem Ergebnis einer Auslese zu tun: die Flieger sind ins Meer geweht.

δ) Wechsel der klimatischen Bedingungen. Besondere Zustände ergeben sich dort, wo in den klimatischen Bedingungen ein mehr oder weniger regelmäßiger Wechsel eintritt, wo also die optimalen Bedingungen für die Tiere unterbrochen werden und zuweilen nur von kurzer Dauer sind. Wo jahraus jahrein nahezu derselbe Zustand in den Bedingungen herrscht, da läßt sich auch im Tierleben keine ausgeprägte Periodizität wahrnehmen: in den feuchten Tropenwäldern Ceylons ebenso wie in den das ganze Jahr durch gleichmäßig temperierten Gebirgsbächen herrscht auch Konstanz in der Zusammensetzung der Lebewelt. Ueberhaupt ist das Wasser viel geringeren Schwankungen ausgesetzt, soweit es durch Bewegung oder durch große Masse vor zu starker Erhitzung und andererseits vor völligem Gefrieren bewahrt ist. Dagegen finden wir bei den Landbewohnern und den Bewohnern kleinerer Wasserbecken, die dem Ausfrieren und Austrocknen ausgesetzt sind, allerhand Anpassungen, die ihnen das Ueberwinden der lebensfeindlichen Zeiten ermöglichen.

Die Bewohner vergänglicher Tümpel stimmen darin überein, daß sie in irgendeinem Stadium ihrer Entwickelung in einen Zustand latenten Lebens eintreten können und so gegen die Vernichtung durch Trockenheit oder Kälte geschützt sind. Sehr viele von ihnen bringen Dauerkeime hervor: rhabdocoele Strudelwürmer, Phyllopoden und Cladoceren, manche Copepoden (Diaptomus-Arten) und Rädertiere erzeugen zu bestimmten Zeiten Dauereier, die durch harte Schalen geschützt sind; vielzellige Dauerkeime sind die Gemmulae der Süßwasserschwämme und die Statoblasten der Moostierchen. Andere Tümpelbewohner haben die Fähigkeit sich zu enzystieren, d. h. mit einer dichten, erhärtenden Sekretkapsel zu umgeben: so viele Protozoen, unter den Würmern Aeolosoma, unter den Krebsen die Cyclops- und Canthocamptus-Arten; unter den Fischen überdauert der in den austrocknenden Gewässern Zentralafrikas lebende Lurchfisch Protopterus die Trockenzeit eingekapselt im Bodenschlamm seiner Wohngewässer. Ja für manche Tiere ist es nicht einmal tödlich, wenn sie unter

Digitized by Google

Abgabe der Hauptmenge ihrer Körperfeuchtigkeit zu einem Staubkorn zusammentrocknen, wie viele Rädertierchen und Bärtierchen (Tardigraden); sie leben wieder auf, wenn sie aufs neue angefeuchtet werden (Anabiose). Fast allen Tümpelbewohnern aber ist eine große Schnelligkeit der Vermehrung eigen, indem sie sich in beschleunigtem Tempo teils durch Teilung und Knospung (Hydra, manche rhabdocoele Strudelwürmer), teils auf parthenogenetischem Wege (Apus, Cladoceren, Muskelkrebse, Rädertiere) oder unter Selbstbefruchtung (Rhabdocoelen) fortpflanzen, so daß die Möglichkeit des Ueberlebens wenigstens einzelner erhöht wird. Diese Fortpflanzungsarten wechseln mit Dauerkeimbildung zyklisch ab und die letztere wird durch Verschlechterung der Lebensbedingungen ausgelöst.

Der Wechsel zwischen Sommer und Winter in den gemäßigten Zonen und zwischen Regenzeit und Trockenzeit in den Tropen und Subtropen zeigen manche Analogien insofern, als durch die Schneedecke und die Kälte des Winters ebenso wie durch die Hitze und den Wassermangel der Trockenzeit im äußersten Falle die Möglichkeit freien Lebens ganz unterbrochen wird. Die Bewohner von Gegenden mit solchem Wechsel verdanken also ihr Ueberleben nur bestimmten Anpassungen.

Viele größere Tiere entgehen den Schädigungen der ungünstigen Zeit durch Wanderungen. Es sind dies besonders die Säuger und Vögel, die ja weniger als die wechselwarmen Tiere durch die Temperaturschwankungen beeinflußt werden, die aber wegen ihrer Abhängigkeit von tierischen und pflanzlichen Lebewesen, die ihnen als Nahrung dienen, durch jenen klimatischen Wechsel in vielen Fällen in ihrer Existenz bedroht werden. So steht der Wanderzug der Vögel, der diese im Frühjahr in die gemäßigten Breiten, im Herbst wieder in die wärmeren und nahrungsreicheren Gegenden führt, in enger ursächlicher Beziehung zu dem Nahrungsmangel, der mit dem Winter für viele eintritt. Aehnlich ist es mit den Wanderungen der großen Herden von Huftieren, von Antilopen, Giraffen, Zebras u. dgl., die zur Regenzeit ihren Einzug in die afrikanischen Steppen halten, um zur Trockenzeit wieder aus ihnen zu verschwinden. Durch den klimatischen Wechsel werden auch, wenigstens indirekt, die Wanderungen der Rentiere vom Gebirge zur Küste und wieder ins Gebirge bedingt.

In dieser Weise können natürlich nur Tiere, die sich schnell und ausdauernd bewegen, den Schädigungen des Winters und der Trockenzeit entgehen. Die meisten sind aber nicht dazu imstande. Sie können es in Gegenden mit solchem Wechsel nur aushalten, wenn sie das aktive Leben während der ungünstigen Jahreszeit ganz einstellen, wenn sie also in einen Winterschlaf oder Sommerschlaf verfallen oder diese Zeit in einem widerstandsfähigeren Zustande, als Ei oder Puppe, überdauern. Winterschlaf ist in den gemäßigten und kalten Zonen sehr weit verbreitet; zu ihm nehmen die Luftbewohner unter den wirbellosen Tieren ihre Zuflucht, und auch Amphibien und Reptilien durchschlafen alle den Winter. Die Wasserbewohner bedürfen des Winterschlafs nicht; denn nur flache Gewässer frieren aus; in tieferen hält sich unter dem Schutz der Eisdecke eine konstante Temperatur von 4° C, in der das Leben beständig weitergeht. Ja manche stenotherme Kältetiere (bestimmte Rädertiere; Diaptomus castor; Canthocamptus staphylinus) treten bei uns in der Ebene nur im Winter (im Gebirg und im Norden im Sommer) auf, die Sommerzeit verbringen sie im Eizustand. Stenotherme Wärmeformen wie der Karpfen oder Limnaea stagnalis können auch im Wasser einen Winterschlaf halten. Bei den eigenwarmen Tieren ist die Fähigkeit, die Lebensfunktionen auf ein Minimum zu beschränken, nur wenig verbreitet; unter den Vögeln gibt es gar keine Winterschläfer, von den Säugern schlafen die Fledermäuse, manche Nager (Siebenschläfer, Murmeltier) und Insektenfresser (Igel) und, wenn auch unterbrochen, einige Raubtiere (Dachs). Sommerschlaf halten in tropischen und subtropischen Gegenden während der Trockenzeit viele Wirbellose und manche Wirbeltiere, so Landblutegel, die sich in den Boden graben, Schnecken, Insekten und Spinnentiere, ebenso Amphibien und Reptilien; der Lurchfisch Protopterus wurde oben schon erwähnt; der Borstenigel Madagaskars (Centetes) verschläft die Trockenzeit wie unser Igel den Winter. Auch bei uns gehen in langen regenlosen Perioden die Landschnecken zum Sommerschlaf über, indem sie ihr Gehäuse mit einem Schleimdeckel verschließen, wobei zugleich ihre Herz- und Atemtätigkeit verringert werden.

Eigenwarme Tiere vermögen allerdings der Winterkälte zu trotzen, wenn sie Nahrung genug finden oder genügend Vorratsstoffe gespeichert haben; der Hitze und Trockenheit gegenüber sind sie wehrlos. Die meisten Säuger verkriechen sich bei uns während des Winters in besondere, vor Kälte schützende Wohnungen (z. B. Fuchs, Kaninchen, Eichhorn, Mäuse); ohne Schlupfwinkel können es nur größere Säuger aushalten, bei denen die wärmeabgebende Oberfläche im Verhältnis zur Körpermasse geringer ist, wie Hirsch, Reh, Wildschwein und als kleinster unter ihnen der Hase; daß bei ihnen die Stoffwechselintensität eine besonders hohe ist, um die

Digitized by Google

genügende Eigenwärme aufzubringen, erkennt man aus der bedeutenden relativen Größe des Herzens, die beim Reh 11,5‰, beim Hasen 7,75‰ (dagegen beim Wildkaninchen nur 3,16‰) beträgt.

Die von der optimalen Temperatur stark abweichende Wärme oder Kälte hat nun auch besonders Einwirkungen auf die Tiere. Das Haar- und Federkleid der Säuger und Vögel wird für den Winter dichter, durch den Haarwechsel oder die Mauser im Frühjahr wieder dünner; das ist als Anpassung an die wechselnde Temperatur zu betrachten, und auch bei Tieren, die normalerweise nicht in solche extremen Temperaturen gekommen wären, stellt sich ein dichter Pelz bei niederer Temperatur ein, z. B. bei den Löwen unserer zoologischen Gärten. Eine andere Anpassung an den Wechsel der Jahreszeiten in unseren Breiten und

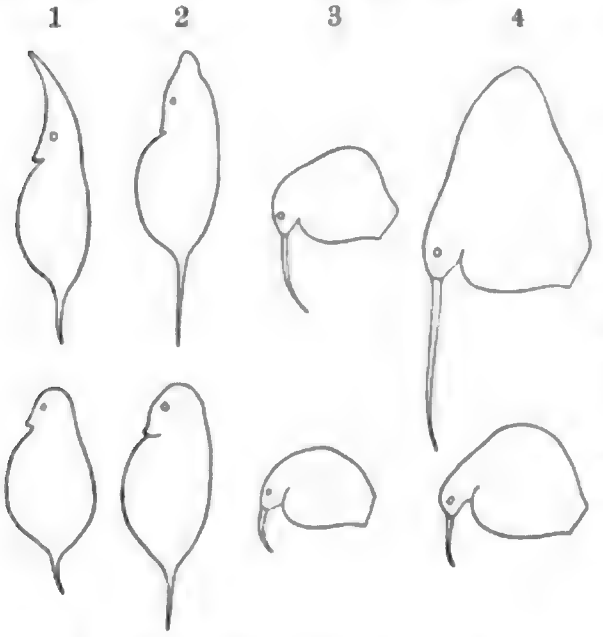


Fig. 5. Sommerformen (oben) und Winterformen (unten) von Wasserflöhen. 1 u. 2 Daphnia hyalina, 3 u. 4 Bosmina coregoni, je aus verschiedenen Seen. Nach Wesenberg-Lund.

Fig. 6. Vanessa levana (Frühjahrsgeneration) und ihre var. prorsa (Sommergeneration). Aus Boas, Zoologie.

die damit verbundene Aenderung der Existenzbedingungen ist der Farbenwechsel bei winterweißen Tieren (Schneehuhn, Schneehase, Hermelin, Eisfuchs und anderen). Bei aufeinanderfolgenden Generationen wirbelloser Tiere stellen sich Farb- und Formveränderungen ein, so daß die Winter- oder Frühjahrsgeneration von der Sommergeneration, die Trockenzeitgeneration von der Regenzeitgeneration abweicht. Diese Erscheinung wird als Saisondimorphismus oder Saisonpolymorphismus bezeichnet; wir begegnen ihr unter den Lufttieren besonders bei den Schmetterlingen, aber auch bei einigen Wanzen, unter den Wassertieren sind Rädertiere und manche Wasserflöhe (Daphnia hyalina, Bosmina coregoni, siehe Fig. 5) je nach den Jahreszeiten verschieden geformt. Saisondimorphismus kommt auch bei Schmetterlingen unserer Gegenden vor, die im Jahre 2 Generationen haben, eine Frühjahrsgeneration aus überwinterten Puppen und eine Sommergeneration, so beim Waldnesselfalter Vanessa levana (Frühjahr) und Vanessa prorsa (Sommer, Fig. 6), beim Repsfalter Pieris napi und var. napaeae, oder in Norditalien beim Feuervogel Polyommatus phlaeas und var. eleus. Es erscheint gezwungen, diese Farben- und Formverschiedenheiten als Anpassung aufzufassen; vielmehr sind sie wohl lediglich als Folge der direkten Einwirkung von niederer oder höherer Temperatur anzusehen; denn man kann bei saisondimorphen Formen aus Puppen, welche die Sommerform geben sollten, durch Einwirkung von Kälte bald nach der Verpuppung wieder die Frühjahrsform erziehen. In subtropischen und tropischen Gegenden wechseln in ähnlicher Weise Regenzeit- und Trockenzeitform, wobei jene meist dunkler gefärbt ist, deutliche Augenflecken und schärfer gezackten Umriß hat; so in Vorderindien Melanitis leda (Regenzeit) und ismene, in Südafrika Precis octavia (rot mit schwarzer Zeichnung, Regenzeit) und P. sesamus (blau mit schwarz und wenig rot), und viele andere.

Der Gestaltenwechsel bei den Generationen mancher Rädertiere und Wasserflöhe geht zwar den Temperaturschwankungen des Wassers parallel, wird aber durch sie nur mittelbar beeinflußt, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben. Daphnia hyalina z. B. zeigt im Sommer einen weit ausgezogenen Helm, während er im Winter kurz abgerundet ist. Die wahre Ursache für diese Abänderungen ist das zur Sommerzeit reichlich, im Winter spärlich vorhandene Futter; denn man hat experimentell durch reiche Fütterung auch im kalten Wasser die Sommerform erziehen können und umgekehrt.

Digitized by Google

2d. **Die Beziehungen der Tiere zur Nahrung.** Der zuletzt erwähnte Versuch führt uns auf den Einfluß, den die Nahrung auf die Tiere hat. Die Tiere entnehmen ihre Nahrung teils der Pflanzenwelt, teils der Tierwelt. Die Ernährung ist anders für die Meeresbewohner als für die Süßwasser- und Landbewohner. Die Pflanzenwelt des Meeres ist quantitativ ganz anders zusammengesetzt als die des Süßwassers und des Landes; neben dem Reichtum an einzelligen Lebewesen tritt die Masse der vielzelligen Pflanzen, die übrigens alle zu den Thallophyten gehören, sehr zurück. Diese sind im allgemeinen an die Ufer gebunden und können nur so weit in die Tiefe gehen, als genügend starkes Licht eindringt; es sind nur relativ wenige Arten unter den Meeresbewohnern, die in ihnen ihre Hauptnahrung finden. Sehr viele kleinere Meerestiere, festsitzende und freischwebende, ernähren sich von den Protisten, die in ungeheuren Mengen im freien Wasser schweben und dienen ihrerseits zum Teil wieder den Planktonfressern als Nahrung. Andererseits sind aber sehr zahlreiche Meerestiere Räuber, die sich wiederum teilweise von den Planktonfressern ernähren. Im Süßwasser dagegen gibt es viel zahlreichere Pflanzenfresser, da hier die Ausdehnung des Ufers und vom Licht erreichten Untergrunds im Verhältnis zur Wassermasse viel größer ist und damit die Menge der größeren Pflanzen, unter denen besonders auch die Phanerogamen reich vertreten sind, wesentlich zunimmt: zahlreiche Schnecken, Arthropoden und einige Wirbeltiere des Süßwassers ernähren sich von diesen. Am Lande dagegen ist die Zahl der Pflanzenfresser noch bedeutender, entsprechend der außerordentlichen Rolle, die die Vegetation hier spielt: die Verbreitung der Pflanzen fällt hier mit der der Tiere nahezu ganz zusammen, insofern als die Landtiere, von den Vögeln teilweise abgesehen, in ihren Bewegungen ebenso an die Nähe des Bodens gebunden sind wie die Pflanzen. Die reiche Entwickelung organischer Substanz in der Pflanzenwelt war ja, neben dem Vorteile der Luftatmung, das Hauptmoment, das ein Leben am Lande vorteilhaft machte und das Verlassen des Wassers für Schnecken, Gliederfüßler und Wirbeltiere so fruchtbar werden ließ. So sind denn manche Spinnentiere, viele Tausendfüßer und eine große Menge Insekten (fast alle Schmetterlinge, viele Geradflügler und Käfer, nicht wenige Dipteren und Hymenopteren) und unter den Wirbeltieren einige Reptilien, viele Vögel und mehr als die Hälfte aller Säuger Kostgänger der Landvegetation.

Eine besondere Art der Nahrungsgewinnung, die nur für Wassertiere möglich ist, bildet das Zustrudeln fein verteilter, im Wasser schwebender oder langsam sinkender organischer Teilchen, seien es Lebewesen oder zerfallende Reste von solchen, sogenannter Detritus; Landtiere können sich als Strudler nicht ernähren, da eine derartige Verteilung feiner fester Teilchen wie im Wasser in der Luft nicht stattfindet. Die Strudler brauchen sich nicht zur Nahrung hin zu bewegen, sie bewegen vielmehr durch Erzeugung von Wasserströmungen die Nahrung zu sich her; man findet daher unter ihnen sehr viele festsitzende und träge bewegliche Formen, wie Schwämme, Moostierchen, Ascidien, Röhrenwürmer, Muscheln; schneller bewegliche wie manche Muscheln (Cardium, Lima), Salpen und Pyrosomen und der Amphioxus bilden die Ausnahme (über die Art der Nahrungsaufnahme bei Schmarotzern vgl. den Artikel „Parasitismus").

Zwischen Pflanzenfressern und Fleischfressern wird ein Uebergang gebildet durch die Allesfresser (Omnivoren), die bald mehr nach der einen, bald mehr nach der anderen Richtung neigen. Die echten Fleischfresser und die echten Pflanzenfresser aber weichen voneinander ab in einer Anzahl von Merkmalen, die als primäre und sekundäre unterschieden werden können. Primäre Unterschiede sind jene, die in unmittelbarer Beziehung zur Nahrung stehen. Besondere Anpassungen sind da hauptsächlich bei den Pflanzenfressern vorhanden; sie ermöglichen ihnen die möglichst gründliche Ausnützung ihrer schwer aufschließbaren Nahrung. Es sind vor allem Kauapparate zum Zersprengen der Zellulosewände der Zellen, durch welche Protoplasma und Stärke den verdauenden Säften entzogen sind; sie treten teils als kauende und mahlende Mundteile auf (breite stumpfe Mandibeln bei Raupen, Maikäfern und anderen; Mahlzähne bei Wiederkäuern und Nagern; Kegelschnabel körnerfressender Vögel), teils als Abschnitte des Darmkanals, die durch harte Auskleidung und kräftige Muskulatur zu Kaumägen umgewandelt sind (bei vielen Insekten und Vögeln). Ferner ist fast immer der Darm der Pflanzenfresser länger als der der Fleischfresser, weil dadurch einmal eine bessere Ausnützung der nährstoffärmeren Nahrung ermöglicht, dann aber auch ein größerer Raum für Aufnahme reicherer Nahrungsmassen geboten wird (vgl. pflanzenfressende und fleischfressende Zahnkärpfchen, oder Kaulquappe und Frosch; beim insektenfressenden Saurier Cnemidophorus sexlineatus Darm = 1,14 Körperlängen, beim pflanzenfressenden Cnemidophorus marinus 2,1 Körperlängen; Darm des Katze 4, des Hundes 5, des Pferdes 10, des Rindes etwa 20 Körperlängen). Die Nahrung der Fleischfresser ist so nährstoffreich, daß eine verhältnismäßig geringe Menge weit reicht; sie können auf Vorrat fressen und lange hungern; Pflanzen-

Digitized by Google

fresser haben zwar oft Vorratsräume (Kropf bei Insekten und Vögeln, Schlundabschnitt des Magens bei Säugern), müssen aber trotzdem viel öfter Nahrung aufnehmen.

Die sekundären Unterschiede zwischen Pflanzen- und Fleischfressern sind viel weniger konstant, im allgemeinen aber doch typisch. Sie seien kurz an dem Beispiel zweier gemeiner Tausendfüßer unserer Fauna erläutert, Julus als Pflanzenfresser, Lithobius als Fleichfresser. Julus hat schwächer ausgebildete Sinnesorgane: kürzere Fühler (Riechorgane), weniger zahlreiche Ocelle. Julus ist langsam, denn seine Nahrung braucht nicht verfolgt zu werden und ist stets in Menge vorhanden, Lithobius ist sehr gewandt. Julus hat keine Waffen und da er nicht entfliehen kann, muß er sich anderweitig gegen Feinde schützen: er hat einen harten, kalkhaltigen Panzer, dessen Wirkung durch Einrollen (Verbergen der Beine) erhöht wird, und Stinkdrüsen; Lithobius besitzt Angriffswaffen in dem zu Kieferfüßen mit einer Giftdrüse umgewandelten vordersten Beinpaar, das er auch zur Verteidigung braucht, und entgeht den Nachstellungen durch die Flucht, ist daher auch weichhäutiger. Julus ist gesellig und in großer Individuenzahl vorhanden, denn die Nahrung reicht für viele; Lithobius lebt vereinzelt, unter einem Stein meist nur einer. Aehnlich unterscheiden sich auch in anderen Gruppen Pflanzen- und Fleischfresser.

Ein weiterer Unterschied bezieht sich auf den Umfang des Speisezettels: wir können Spezialisten und Allesfresser (monophage und polyphage Tiere) unterscheiden, wobei freilich auch hier wieder vielerlei Uebergänge vorhanden sind. Den Allesfressern wird es nicht leicht an Futter fehlen; die Spezialisten aber haben den Vorteil, an die Besonderheiten ihrer Nahrung so angepaßt zu sein, daß sie sie mit großer Sicherheit auffinden und möglichst gründlich verarbeiten können. Solche Anpassungen beziehen sich wahrscheinlich in erster Linie auf den Chemismus ihres Körpers: die Raupen des Wolfsmilchschwärmers, der Wachsmotte und Pelzmotte, der Biber, die Mehrzahl der Binnenschmarotzer sind Beispiele dafür; doch läßt sich schwer ermitteln, worin im einzelnen diese Anpassungen bestehen. Vor allem sind es aber Einrichtungen für die Erlangung ihrer speziellen Nahrung, die viele Spezialisten auszeichnen: Ameisen- und Termitenfresser, wie Grünspecht, Ameisenbeutler, Erdferkel, Ameisenbär (Myrmecophaga), Gürteltier haben eine lang vorstreckbare, durch klebrigen Speichel zur Leimrute gestaltete Zunge; die Nektarsauger unter den Insekten wie unter den Vögeln (Bienen, Schmetterlinge, Fliege Bombylius; Kolibris, Pinselzüngler) besitzen Saugrüssel oder lange Zungen, um in die Blumen hineinzureichen; die Muschelfresser besitzen kräftige, mit breiten Zähnen bewaffnete Kiefer (der Selachier Chimaera, Schnabeltier, Seeotter). Der Schnabel des Kreuzschnabels ist durchaus an die Gewinnung von Nadelholzsamen angepaßt, der Rüssel der Meeresschnecke Natica trägt einen saugnapfartigen Bohrapparat zum Anbohren der Muschelschalen.

Die Art der Nahrung hat zuweilen Einfluß auf die Färbung der Tiere, wohl durch Beeinflussung ihres Chemismus im allgemeinen. So verliert der Gimpel bei Hanfsamenfütterung sein feines Grau und schönes Rot; die grüne Farbe des Papageien Chrysotis festiva wird durch Fütterung mit dem Fett eines welsartigen Fisches in Rot verwandelt, u. v. a. In ausgedehnterem Maße konnten aber solche Zusammenhänge noch nicht nachgewiesen werden.

Die Menge der verfügbaren Nahrung ist natürlich überaus wichtig. Nahrungsmangel bewirkt Kummerformen; Ueberfluß an Nahrung steigert die Größe und die Fruchtbarkeit: so findet man bei Schleier- und Sumpfohreulen, die sonst 3 bis 5 Eier legen, in Mäusejahren Gelege von bis zu 10 und mehr Eiern, die noch dazu größer sind als gewöhnlich. Die große Fruchtbarkeit der Haustiere, der Bienen- und Termitenkönigin und vor allem der Innenschmarotzer beruht wesentlich auf ihrer reichlichen Ernährung. Wo viel Nahrung vorhanden ist, da wimmelt es natürlich auch von Kostgängern: nach Forsten, die von der Nonne heimgesucht sind, ziehen sich die Kukuke zusammen; Tannenhäher und Kreuzschnäbel stellen sich dort ein, wo der Nadelholzsamen gut geraten ist. Der Fischreichtum des Meeres ist der Grund für die Anhäufung der Schwimm- und Tauchvögel an den Vogelbergen des Nordens. Wo im Ozean eine kalte und warme Strömung zusammenstoßen und infolgedessen viele stenotherme Kalt- und Warmwassertiere zugrunde gehen, da bilden sich am Grunde des Meeres Bänke, die von Lebewesen wimmeln; alle zehren sie von dem Nahrungssegen, der hier zu Boden sinkt: so ist es auf der Aguljasbank östlich von Südafrika, so in der Sagamibucht (Japan), so bei Spitzbergen und auf der Neufundlandbank.

2c) Die Beziehungen der Tiere zum Raum. Schließlich mögen noch die Beziehungen der Tiere zum Raum Erwähnung finden. Die Tiere sind entweder freibeweglich oder festsitzend; aber auch die festsitzenden Tiere besitzen in irgendeinem Zustande ihres Lebens, meist in der ersten Jugend, freie Beweglichkeit. Bei denjenigen Tieren, die sich an der Grenze zweier Medien, also an der Grenze von Luft und Erde, oder von Wasser und Erde, oder von Luft und Wasser bewegen, ist die Bewegung im all-

Digitized by Google

gemeinen auf zwei Dimensionen des Raumes beschränkt, also bei den Landtieren i. e. S., den nicht schwimmenden oder schwebenden Wassertieren und den Wasserläufern. Diejenigen Tiere dagegen, die im freien Wasser schwimmen oder in der Luft fliegen, können sich nach allen drei Dimensionen des Raumes bewegen, sind also viel freier. Von ihnen sind wiederum die Flieger am freiesten beweglich, weil das Luftmeer zusammenhängend ist, wogegen für die Wassertiere das Land, für die Landtiere das Wasser eine Schranke bildet. Festsitzende Tiere kommen nur im Wasser vor (von Schmarotzern abgesehen); denn nur hier ist es für sie möglich, Nahrung zu erbeuten und sich zweigeschlechtlich fortzupflanzen. In der Luft wäre für festsitzende Tiere eine Ernährung vielleicht möglich — man denke nur an Laurer wie den Ameisenlöwen oder die Cicindelenlarve — aber die Spermatozoen könnten nicht durch die Luft hindurch zu den Eiern gelangen und diese befruchten, wie das im Wasser geschieht. Festsitzend sind manche Protozoen, viele Coelenteraten, die Röhrenwürmer, Moostierchen, manche Rädertierchen, die Brachiopoden, von den Stachelhäutern die meisten Crinoiden, eine Anzahl Muscheln und einige Schnecken, von den Krebsen die Rankenfüßer, von den Manteltieren die Ascidien. Die festsitzende Lebensweise hat bei den Tieren mannigfache analoge Umbildungen hervorgerufen. Die Bewegungsorgane fehlen (Brachiopoden, Moostierchen, Ascidien) oder sind rückgebildet (z. B. Auster) oder zu anderer Verrichtung umgebildet (z. B. Rankenfüße der „Entenmuschel"). Von Sinnesorganen sind die Augen oft rückgebildet. Das Nervensystem ist bei manchen Formen gering ausgebildet, aber nicht überall. Die Ernährung geschieht sehr oft durch Herbeistrudeln der Nahrung, sonst durch Lauern. Was die Fortpflanzung angeht, so kommt eine Begattung nur bei denjenigen Rankenfüßern vor, welche Zwergmännchen haben; im übrigen ist bei den festsitzenden Tieren die Zwittrigkeit sehr verbreitet und die Befruchtung geschieht durch Entleeren des Samens in das umgebende Wasser, wo dann die Spermatozoen selbsttätig die Eier aufsuchen. Bei Coelenteraten, Moostierchen und Ascidien findet ungeschlechtliche Fortpflanzung statt durch Knospung, und in ihrem Gefolge Stockbildung. Nicht selten kommt es bei den festsitzenden Tieren, für die ja keine Richtung im Umkreis bevorzugt ist, zur Ausbildung einer völligen oder scheinbaren radiären Symmetrie, so bei den Coelenteraten, bei der Tentakelkrone von Moostierchen und Röhrenwürmern, bei manchen festsitzenden Rädertierchen (Floscularia), den Meereicheln und zusammengesetzten Ascidien. Bei den Stachelhäutern waren, wie jetzt noch die allermeisten Crinoiden, die Vorfahren festsitzend, und daher stammt vielleicht die strahlige Symmetrie dieser Tiere.

Der Lebensraum, den ein Tier braucht, ist sehr verschieden. Aeußerst beschränkt ist er bei den festsitzenden Tieren. Pflanzenfresser können sich zu vielen in den gleichen Wohnraum teilen, da er ihnen genug Nahrung gewährt; dagegen ist die Verteilung der Fleischfresser eine viel dünnere: ein Löwe, ein Fuchs, ein Adler, ein Eisvogel braucht ein gewisses Jagdgebiet, um zu genügender Nahrung zu kommen, und häufig wird in diesem Gebiete ein Artgenosse gar nicht geduldet. Sehr eigentümlich ist der Einfluß, den der verfügbare Raum auf die Bewohner übt: Sempers Versuche haben gezeigt, daß Teichschnecken der gleichen Brut in kleinen Gefäßen kleiner bleiben als in größeren, und Babák hat mit einwandfreier Versuchsanstellung das gleiche für Kaulquappen nachgewiesen. Vielleicht ist es auf ähnliche Verhältnisse zurückzuführen, daß die Mittelmeertiere im allgemeinen kleiner sind als die gleichen Arten im atlantischen Ozean — immerhin wäre es aber möglich, daß sonstige abweichende Bedingungen die Schuld tragen, wie ja die Tiere der Ostsee kümmern wegen des geringeren Salzgehaltes. Daß die Säugetiere auf Inseln zu Zwergwuchs geneigt seien (Shetlandponys, Zwergformen von Hirsch, Wildschwein u. a. in Sardinien u. dgl.) scheint in dieser Verallgemeinerung nicht stichhaltig zu sein.

Literatur. ***C. W. S. Aurivillius,*** *Die Maskierung der oxyrhynchen Dekapoden, durch besondere Anpassungen ihres Körperbaues vermittelt. Kon. Svenska Vetensk.-Akad. Handlingar, Vol. 23, Nr. 4, 1889.* — ***K. E. von Baer,*** *Ueber die Verbreitung des organischen Lebens. In: Reden 1. Bd. 1864.* — ***F. A. Dixey,*** *Recent Development in the Theory of Mimicry. Nature, Vol. 76, S. 673 bis 678. 1907.* — ***F. Doflein,*** *Das Tier als Glied des Naturganzen, 2. Band von Hesse und Doflein, Tierbau und Tierleben. Erscheint Ende 1912.* — ***E. Fraas,*** *Reptilien und Vögel in ihren Anpassungen an das marine Leben. In: Jahreshefte d. Ver. f. Vaterl. Naturkunde in Württemberg. Bd. 61, S. 346 bis 386, 1905.* — ***L. Fredericq,*** *Sur la concentration moléculaire du sang et des tissus chez les animaux aquatiques. In: Arch. de Biologie t. 20, S. 709 bis 737, 1904.* — ***O. Hertwig,*** *Die Symbiose oder das Genossenschaftsleben im Tierreich. Jena 1883.* — ***F. Heincke,*** *Der Lebensreichtum des Meeres und seine Ursachen. In: Kosmos, Bd. 15, S. 338 bis 349. 1884.* — ***A. Jacobi,*** *Die Bedeutung der Farben im Tierreich. Brackwede 1905.* — ***O. Kirchner,*** *Blumen und Insekten. Leipzig 1911.* — ***K. Kraepelin,*** *Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Leipzig 1905.* — ***W. Kückenthal,*** *Ueber die Anpassung von Säugetieren an das Leben im Wasser. Zool. Jahrb. (Syst.), 5. Bd., S. 373 bis 399. 1890.* — ***A. Lang,*** *Ueber den Einfluß*

Digitized by Google

der festsitzenden Lebensweise auf die Tiere. Jena 1888. — **L. Merzbacher,** *Allgemeine Physiologie des Winterschlafs. In: Ergebnisse der Physiologie, Bd. 3, 2. Teil, S. 214 bis 257. 1905.* — **M. Nussbaum, G. Karsten, M. Weber,** *Lehrbuch der Biologie für Hochschulen. Leipzig 1911.* — **E. Riggenbach,** *Die Selbstverstümmelung der Tiere. In: Ergebniss d. Anat. und Entwickelungsgesch., Bd. 12, S. 782 bis 903. 1902.* — **G. van Rynberk,** *Ueber den durch Chromatophoren bedingten Farbwechsel der Tiere. In: Ergebn. d. Physiologie, 5. Bd., S. 347. 1907.* — **W. Schwarze,** *Beiträge zur Kenntnis der Symbiose im Tierreich. Programm d. Realgymn. Hamburg. 1902.* — **A. Seitz,** *Betrachtungen über die Schutzvorrichtungen der Tiere. Zool. Jahrb., 3. Bd., S. 59 bis 96. 1888.* — **C. Semper,** *Die natürlichen Existenzbedingungen der Tiere. Leipzig. 1880.* — **P. Steinmann,** *Die Tierwelt der Gebirgsbäche. In: Arch. f. Hydrobiologie und Planktonkunde, 3. Bd., S. 266 bis 273. 1908.* — **J. Vosseler,** *Beiträge zur Faunistik und Biologie der Orthopteren Algeriens und Tunesiens. In: Zool. Jahrb. Abt. f. Systematik, 16. und 17. Bd 1902.* — **A. Weismann,** *Vorträge über Deszendenztheorie. Jena 1902.*

R. Hesse.

Oele

siehe den Artikel „Fette, Oele, Seifen“.

Oerstedt

Hans Christian.

Geboren am 15. August 1777 in Rudkjöbing in Dänemark, gestorben am 9. März 1851 in Kopenhagen. Er studierte von 1794 an in Kopenhagen, wurde 1799 pharmazeutischer Adjunkt der medizinischen Fakultät; von 1801 bis 1803 unternahm er Reisen in Deutschland, Frankreich und Italien, hielt, nach Kopenhagen zurückgekehrt Vorlesungen über Physik und Chemie, und wurde dort 1806 Professor. Die Jahre 1812 und 1813 brachte er wiederum auf wissenschaftlichen Reisen zu. 1829 wurde er zum Direktor des Polytechnikums in Kopenhagen ernannt. Oerstedts Bedeutung liegt auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre; er entdeckte 1820 die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel und wurde damit der Begründer des Elektromagnetismus. 1822 konstruierte er ein Piezometer zur Messung der Kompressibilität der Flüssigkeiten.

Literatur. *Biographie von* **Hauch und Forchhammer,** *deutsch von Sebald. Spandau 1853.*

E. Drude.

Ogiven

oder Schmutzstreifen im Firnschnee oder Gletschereis. Sie sind hervorgerufen durch hineingewehten Staub und erhalten talwärts infolge der an verschiedenen Stellen verschiedenen Bewegungsgeschwindigkeit des Gletschers eine gebogene und gekrümmte Gestalt (vgl. den Artikel „Eis“).

Ohm

Georg Simon.

Geboren am 6. März 1787 in Erlangen, gestorben am 7. Juli 1854 in München. Er war nacheinander Lehrer in Nidau, Neuchâtel, Bamberg, 1817 am Gymnasium in Köln, 1826 an der Kriegsschule in Berlin, 1833 an der polytechnischen Schule in Nürnberg; 1849 wurde er zum Extraordinarius, 1852 zum Ordinarius in München ernannt. Seine Untersuchungen auf elektrischem Gebiet führten ihn zur Formulierung des nach ihm benannten Gesetzes für den elektrischen Strom, das er 1827 veröffentlichte. 1840 erschien seine Weiterausbildung der von Kirwan aufgestellten Richtungshypothese des Magnetismus. Auch auf dem Gebiet der Akustik machte er Versuche und führte den Klang der Töne auf die relative Intensität der Partialtöne zurück.

Literatur. **Bauernfeind,** *Gedächtnisrede auf Ohm. Leipzig 1890.* — **Mann,** *G. S. Ohm, Leipzig 1890.*

E. Drude.

Oken

Lorenz.

Geboren am 1. August 1779 in Bohlsbach bei Offenburg, gestorben am 11. August 1851 in Zürich. Studierte von 1800 bis 1804 in Freiburg Medizin und promovierte dortselbst. Seine Lieblingsstudien waren von Anfang an Philosophie und Naturwissenschaften. Schon 1802 hatte er einen Grundriß des Systems der Naturphilosophie verfaßt, den er mit dem Namen Oken[1]) publizierte, wie er sich von nun an nannte. Nachdem er noch von 1804 bis 1805 in Würzburg studiert hatte, habilitierte er sich in Göttingen, wo er in ziemlich bedrängter Lage lebte. Hier entstanden seine Arbeiten über den Darmkanal des Embryos der Säugetiere, die wesentlich zu seinem wissenschaftlichen Rufe beitrugen. Am Ende seiner Existenzmittel angelangt, wurde er 1807 als Extraordinarius nach Jena berufen. Seine Programmschrift, die er bei Antritt der Professur veröffentlichte, enthält seine bekannte Wirbeltheorie des Schädels. Oken blieb bis 1819 in Jena; in diese Zeit fällt seine eifrigste und regste Tätigkeit auf naturphilosophischem und naturgeschichtlichem Gebiet. Auch seine Lehrtätigkeit war außerordentlich erfolgreich. Durch sein unleidliches Verhältnis zu Goethe, mit dem er in einen Prioritätsstreit um die Wirbel-

[1]) Sein eigentlicher Name ist Okenfuß.

Digitized by Google

theorie des Schädels geraten war und seine Teilnahme am Wartburgfeste, ferner durch die Kritiken seiner Zeitschrift Isis, war er der Regierung unliebsam geworden und mußte demissionieren. Auch wurde die Herausgabe der Isis verboten, deren Druck daraufhin in Leipzig erfolgte. Er lebte dann in Basel 1821 bis 1822. und wieder in Jena bis 1827 als Privatmann, nur mit der Herausgabe der Isis beschäftigt. Der Wunsch, wieder eine Lehrtätigkeit zu haben, trieb ihn nach München, wo er zunächst Privatdozent, dann ordentlicher Professor der Physiologie wurde (1827). Auch hier geriet er durch sein schroffes und oft unversöhnliches Auftreten in Konflikt mit der Regierung und mußte wieder 1832 seine Entlassung nehmen. Glücklicherweise erhielt er einen Ruf nach Zürich, wo er bis zu seinem Tode in der fruchtbarsten Weise wirkte.

Wenn man Okens Wirken würdigen will, so muß man berücksichtigen, daß er in erster Linie Naturphilosoph war. Eigene Untersuchungen hat er nur selten angestellt. Sein Hauptbestreben war die Darstellung eines allgemeinen in sich zusammenhängenden alle Reiche der Natur und deren Elemente umfassenden Natursystems. Er sprach darin den Satz aus, die Naturphilosophie ist die Wissenschaft von der ewigen Verwandlung Gottes in der Welt. Die Isis gab er von 1816 bis 1848 heraus, er war bestrebt, alle Wissenschaften mit Ausnahme der Theologie und Jurisprudenz darin zu Worte kommen zu lassen. Vorzugsweise sind die Artikel jedoch naturhistorischen Inhalts. Tatsächlich ist die Isis ein Tummelplatz der Meinungen, auf dem alle geistig regen Gelehrten neuerer Zeit sich betätigten. Er ist auch als Gründer der Versammlungen deutscher Naturforscher und Aerzte zu betrachten, 1827 brachte er zum ersten Male in Leipzig eine wenn auch nur schwach besuchte Tagung zustande.

Seine Werke sind: Lehrbuch des Systems der Naturphilosophie 1. Aufl. Jena 1809 bis 1811 3 Bde., 2. Aufl. Jena 1831, 3. Aufl. u. d. T. Lehrbuch der Naturphilosophie, Zürich 1843. Lehrbuch der Naturgeschichte, 1. Bd. Mineralogie, Leipzig 1812, 2. Bd. (in 2 Teilen). Naturgeschichte der Pflanzen Jena 1825 bis 1826, 3 Bd. (in 2 Teilen). Lehrbuch der Zoologie, Jena 1816. Allgemeine Naturgeschichte für alle Stände, 13 Bd. Stuttgart 1833 bis 1841 mit 1 Atlas.

Literatur. *Lorenz Oken. Eine biographische Skizze. Gedächtnisrede zu der hundertjährigen Geburtstagfeier von* **Alexander Ecker.** *Stuttgart 1880. Enthält auch vollständiges Verzeichnis seiner Schriften.* — **Güttler,** *Lorenz Oken und sein Verhältnis zur modernen Entwicklungslehre. Leipzig 1884.*

W. Harms.

Ontogenie.

1. Definition. Morphologie der Eizelle. 2. Erste Entwickelungsperiode. Furchung und Ausbildung der Primitivanlagen: a) Furchung: α) Totaler Typus. β) Diskoidaler Typus. γ) Superfizieller Typus. b) Ausbildung der Primitivanlagen. Begriff der Keimblätter: α) Bildung des Entoderms. β) Mesodermale Primitivanlagen (Mesenchymzellen, Urmesodermzellen und Mesodermstreifen, Urdarmdivertikel, Mesoderm der Gliedertiere, Mesoderm der Wirbeltiere). γ) Ausbildung der Urgeschlechtszellen. 3. Zweite Entwickelungsperiode. Gestaltsbildung: a) Gestaltsbildung in Verbindung mit Larvenstadium und Metamorphose: α) Schwärmlarven der Coelenteraten und Schwämme. β) Schwärmlarven der Würmer und Mollusken. γ) Schwärmlarven der Echinodermen. δ) Larvenformen der Gliedertiere. ε) Larvenformen der Manteltiere und Wirbeltiere. b) Direkte Gestaltsbildung ohne Verbindung mit Larvenstadien bei Gliedertieren und Wirbeltieren. c) Embryonalhüllen bei Skorpionen, Insekten, höheren Wirbeltieren. 4. Dritte Entwickelungsperiode. Organbildung: a) Organe ektodermaler Herkunft (Körperbedeckung, Nervensystem, Sinnesorgane, Atmungsorgane wirbelloser Tiere, larvale Urnieren). b) Organe entodermaler Herkunft (Darmkanal, Kiemen, Lungen). c) Organe mesodermaler Herkunft (Binde- und Stützsubstanzen; Muskulatur; Cölom; Blutgefäßsystem; Exkretionsorgane; Geschlechtsapparat).

1. Definition. Morphologie der Eizelle. Die Ontogenie umfaßt als die Entwickelungsgeschichte des Einzelindividuums alle die Formveränderungen, welche dieses Individuum von seinem Ausgangspunkt, der befruchteten Eizelle, bis zur erreichten Geschlechtsreife durchmacht. Die Lebensgeschichte des Individuums ist freilich damit noch nicht abgeschlossen, es folgt vielmehr zumeist auf den mehr oder weniger lang dauernden Zustand der geschlechtlichen Reife und Tätigkeit noch eine Periode absteigender Entwickelung, des Zerfalls, die schließlich zum Tode führt. In der Regel bezieht man aber diese letzteren Erscheinungen nicht mehr in eine Betrachtung der ontogenetischen Vorgänge ein, sondern behandelt nur die Vorgänge, die sich beim Aufbau eines Individuums abspielen.

Innerhalb dieser derart umgrenzten Entwickelungszeit lassen sich nun wieder verschiedene Stufen unterscheiden. Eine erste führt zur Sonderung der in der Eizelle enthaltenen Anlagekomplexe auf dem Wege der Furchung und der Scheidung der einzelnen Primitivanlagen voneinander; eine zweite arbeitet äußerlich in großen Umrissen die Gestalt des zukünftigen Tieres heraus — häufig unter Vermittelung einer besonderen Zwischenstufe, einer Larvenform —, läßt innerlich eine Sonderung der Anlagekomplexe für die einzelnen Organe eintreten; eine dritte Stufe endlich führt zur spezifischen Ausgestaltung der äußeren Form in ihren Einzelheiten, bewirkt innerlich die histologische Differenzierung der einzelnen Organe und macht sie dadurch erst zu ihren besonderen physiologischen Funktionen befähigt.

Die Entwickelung eines Tierindividuums beginnt mit dem Augenblicke, wo eine männ-

Digitized by Google

liche Samenzelle und eine weibliche Eizelle sich in dem Befruchtungsvorgang zur Bildung einer einzigen Zelle vereinigen. Mit dem Momente dieser Vereinigung ist das neue Individuum in allen seinen wesentlichen zukünftigen Eigenschaften fixiert. Und zwar sind es im besonderen die Kerne, welche diesen bestimmenden Einfluß ausüben, enthalten sie doch in der stark färbbaren Substanz des Chromatins die väterliche und mütterliche Erbmasse. Die protoplasmatischen Teile von Samen- und Eizelle sind wohl kaum Träger irgendwelcher Vererbungssubstanz, man kann sie gewissermaßen als das Substrat jener Chromatinelemente auffassen. Von ihnen ist nur die Eizelle insofern von Bedeutung für die Entwickelung des neuen Individuums, als die Konstitution derselben von einschneidendem Einfluß auf den Ablauf der Entwickelungsvorgänge während der ersten Embryonalperiode sein kann.

Jede Eizelle besitzt den morphologischen Wert einer Zelle und besteht als solche aus Protoplasma und Kern. Vor der Befruchtung pflegt man letzteren gewöhnlich als Keimbläschen, seinen Kernkörper als Keimfleck zu bezeichnen, nach der Befruchtung dagegen, also nach der Vereinigung mit dem Samenkern, stellt der Eikern den sogenannten „ersten Furchungskern" dar. Das Protoplasma des Eies enthält aber nun außerdem noch besondere Nährsubstanzen, die dem Ei durch den mütterlichen Organismus zugeführt werden und die zur Ernährung des jungen Keimes in seiner ersten Entwickelungsperiode dienen. Diese Nährstoffe werden als Dotter oder Deutoplasma bezeichnet, sie lagern sich in Form von Kügelchen oder Körnchen in das Plasma ein und bestehen aus Eiweißkörpern, Fetten, Oeltropfen. Selten ist der Dotter farblos, meist ist er gelblich, doch kann er auch intensiv rot, grün, blau oder violett gefärbt sein. Durch die verschiedenartige Verteilung der Dottersubstanzen wird eine Anzahl voneinander abweichender Eitypen geschaffen. Der Dotter kann gleichmäßig über das ganze Eiplasma verteilt sein, so daß beide Substanzen sich innig durchdringen; der Furchungskern nimmt dann die Mitte der überall gleichartig strukturierten Eimasse ein (alecithaler Eitypus, Fig. 2a). Der Dotter kann ferner am einen Pol sich besonders massig anhäufen, die Folge ist, daß das Plasma von diesem, dem vegetativen Pole, verdrängt wird und an dem entgegengesetzten dotterfreien, dem animalen Pole sich zusammendrängt, wo dann auch der Furchungskern zu finden ist. Nehmen solche Eier unter beträchtlicher eigener Größenzunahme sehr große Mengen von Dotter auf, so kommt schließlich ein Eitypus zustande, bei dem das Bildungsplasma mit dem Furchungskern ganz zurücktritt und nur noch eine kleine, gegenüber den Dottermassen ganz verschwindende Scheibe am animalen Pole, die sogenannte Keimscheibe, darstellt (telolecithaler Eitypus, Fig. 1, Fig. 8a). Der Dotter kann endlich drittens in der Mitte des Eies sich anhäufen und nur an den peripheren Rändern eine schmale Zone von Bildungsplasma, das sogenannte Keimhautblastem, bestehen lassen, es entsteht der centrolecithale Eitypus (Fig. 10a), dessen Furchungskern in der Regel in der Mitte des Eies, umgeben von einem besonderen Plasmahofe, liegt.

Für das äußere Aussehen des Eies sind ferner noch von Bedeutung besondere Hüllen, die mit den bisher besprochenen Teilen in keinem engeren Zusammenhange stehen, sondern dieselben nur zum Schutze umschließen. Selten sind Eizellen ganz nackt, wie bei Schwämmen, Coelenteraten, Stachelhäutern, Muscheln, zumeist sind sie wenigstens von einer zarten Dotterhaut umschlossen, die durch Erhärtung der äußeren Schicht des Eiplasmas entsteht, also vom Ei selbst aus ihre Entstehung nimmt (primäre Eihülle). Eine besondere Form dieser primären Eihüllen stellt die Zona radiata mancher Wirbeltiere dar, bestehend aus einer dicken, von Poren durchsetzten Membran, die an einer Stelle eine trichterförmige Unterbrechung, eine sogenannte Mikropyle, zum Durchtritt des Samenfadens aufweist. Eine zweite Gruppe von Eihüllen wird nicht vom Ei selbst, sondern von besonders differenzierten sterilen Ovarialzellen seiner Umgebung, von sogenannten Follikelzellen, abgeschieden (sekundäre Eihüllen). Es entstehen Chorion-Bildungen, sehr feste chitinartige Eischalen, die häufig eine sehr komplizierte Struktur ihrer Oberfläche besitzen und stets ebenfalls eine Mikropyle aufweisen (Insekten, Mollusken). Tertiäre Eihüllen endlich werden von den ausführenden Abschnitten des weiblichen Genitalapparates abgeschieden. Solche können einmal in Form von Gallerthüllen auftreten, die dann, besonders bei wasserlebenden Tieren (Insekten, Tintenfischen, Amphibien), zur Ausbildung von Laichmassen führen. Kompliziertere Erscheinungen treten bei Reptilien und Vögeln auf. Bei letzteren wird (vgl. Fig. 1) das aus Keimscheibe und Dotter bestehende eigentliche Ei zunächst von einer im Eileiter abgeschiedenen Eiweißmasse umschlossen und in mehreren spiraligen Schichten umlagert; es wird dann weiter der Eiweißmantel zusammengehalten durch die Schalenhaut, welche aus zwei Schichten besteht und am stumpfen Eipol unter Bildung einer Luftkammer auseinanderweicht; es bildet dann endlich den äußeren Abschluß des Eies eine im Uterus abgesonderte poröse

Digitized by Google

Kalkschale. Die Reptilieneier sind ganz ähnlich gebaut, nur findet sich an Stelle der Kalkschale eine pergamentartige Hülle.

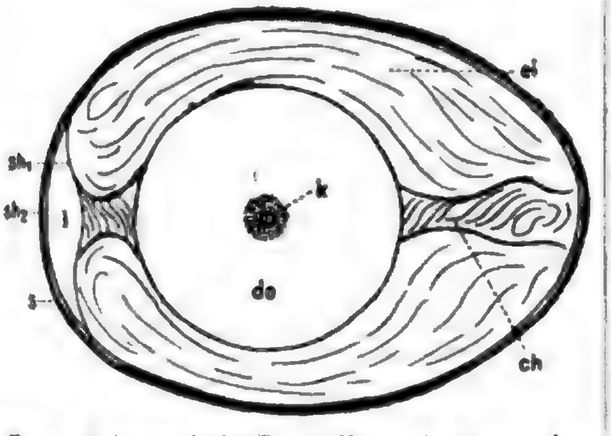


Fig. 1. Schematische Darstellung eines von oben betrachteten, befruchteten und abgelegten Hühnereies. Eiweiß und Schale ist horizontal durchschnitten gedacht, die Dotterkugel dagegen unversehrt. Nach Gadow, Vögel in Bronns Klassen und Ordnungen. I. Teil, 1891, Taf. 55 Fig. 4. ch Chalaze, do Dotter, ei Eiweiß, k Keimscheibe mit Keimbläschen, l Luftraum, umschlossen von der äußeren (sh_2) und inneren (sh_1) Lage der Schalenhaut, s Kalkschale.

Werden mehrere Eier von einer gemeinsamen Hülle umschlossen, so spricht man von Kokons, die in den allermannigfaltigsten Formen auftreten können.

2. Erste Entwickelungsperiode: Furchung und Ausbildung der Primitivanlagen.
2a) Furchung. Unter Furchung faßt man diejenigen ersten Entwickelungsvorgänge am befruchteten Ei zusammen, welche unter wiederholten Zellteilungen die zunächst durchaus einzellige Eizelle in einen vielzelligen Komplex überführen, für den im besonderen charakteristisch ist, daß die Gesamtheit seiner Komponenten, der sogenannten Furchungszellen oder Blastomeren, in Form und in Größe im wesentlichen die Verhältnisse der Eizelle beibehalten hat. Die Zellteilungen des Furchungsprozesses führen also demgemäß einmal zu einer stetigen Verkleinerung der Zellgröße, so daß einige hundert Furchungszellen eines älteren Furchungsstadiums denselben Raum für sich beanspruchen, den vorher die eine Eizelle einnahm; sie lassen ferner zunächst noch fast jegliche Ortsverlagerung der aus ihnen sich ergebenden zahlreichen Zellen vermissen, so daß letztere in ihrer Gesamtheit die gleiche Kugel- oder Scheibenform darbieten, wie sie ursprünglich die noch ungeteilte Eizelle zeigte.

Insgesamt lassen sich entsprechend der Dotterverteilung des Eies drei Grundtypen des Furchungsprozesses unterscheiden, die aber keineswegs völlig scharf voneinander geschieden sind, sondern die sich auseinander ableiten lassen. Der ursprünglichste Typus ist die totale Furchung, sie ist die weitaus verbreitetste und bietet eine große Mannigfaltigkeit im einzelnen dar. Aus ihr abzuleiten ist ferner der discoidale Typus der extrem telolecithalen Eier sowie der superfizielle Modus der centrolecithalen Eier.

α) Totaler Furchungstypus. Nach seinen äußeren Erscheinungsformen läßt derselbe sich zunächst in zwei Untertypen zerlegen, die wiederum durch den wechselnden Dotterreichtum des Eies bestimmt werden, in den äqualen und den inäqualen Typus. Der äquale Typus findet sich nur bei alecithalen Eiern, bei denen also keinerlei lokale Anhäufung von Dottermassen statthat. Er ist nur selten in reiner Form anzutreffen, so bei manchen Stachelhäutern, bei Schwämmen, Coelenteraten und einzelnen Krebsen. Der Verlauf ist etwa folgender. Zunächst teilt sich die kugelrunde Eizelle (Fig. 2a) durch zwei senkrecht aufeinander stehende Meridionalfurchen in zwei (Fig. 2b) und in vier (Fig. 2c) Zellen, eine dritte nunmehr äquatoriale Teilungsebene läßt daraus acht Zellen entstehen (Fig. 2d), die durch neue, nun wieder meridionale Ebenen in 16 Zellen zerlegt werden (Fig. 2e). Fortgesetzte weitere Teilungen führen zu 32 (Fig. 2f), 64, 128 Zellen und so fort, mit

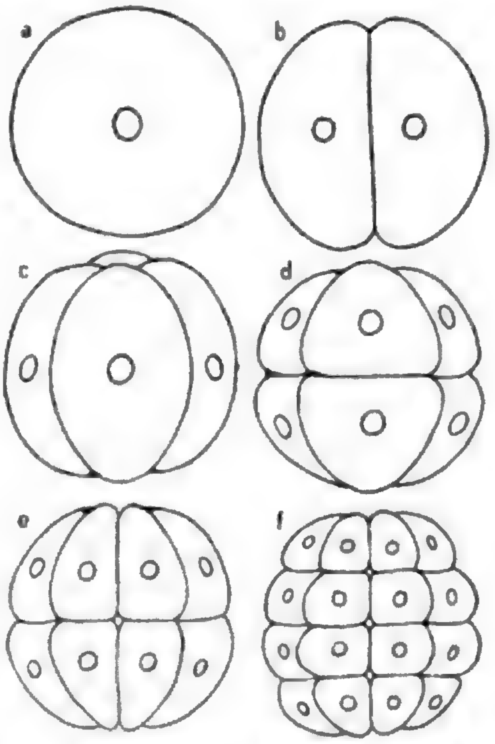


Fig. 2. Schematische Darstellung des totaläqualen Furchungstypus. a ungefurchtes Ei, b zweizelliges, c vierzelliges, d achtzelliges, e sechzehnzelliges, f zweiunddreißigzelliges Furchungsstadium. Alle von der Seite gesehen.

dem Endergebnis, daß schließlich ein kugeliger Zellenkomplex vorhanden ist, dessen

Digitized by Google

Elemente sämtlich zum mindesten annähernd von der gleichen Größe sind. Bildet der Zellenhaufen dabei eine völlig kompakte solide Masse, so spricht man von einer Morula; in der Regel beginnen aber schon frühzeitig im Zentrum des ganzen Komplexes Flüssigkeitsräume aufzutreten, die zusammenfließen, sich vergrößern und schließlich im Innern eine umfangreiche Höhlung bilden, welche von den Furchungszellen als Wandzellen umschlossen wird. Der Keim ist so zu einer Hohlblase, zu einer Blastula geworden (Fig. 11a), ihr innerer von Flüssigkeit erfüllter Raum wird als Furchungshöhle bezeichnet.

Auch an dotterreichen Eiern von einem gemäßigt telolecithalen Typus verläuft die Furchung total, insofern eben das ganze Ei in seiner Gesamtheit zerklüftet wird, aber die lokale Anhäufung größerer Dottermassen am vegetativen Pol hat zur Folge, daß die äquatorialen Teilungsebenen in der Richtung nach dem animalen Pol verschoben werden, wodurch dann naturgemäß die Zellen hier kleiner erscheinen müssen, als am vegetativen Pole, die Furchung verläuft nach dem inäqualen Typus. Dieser ist sehr viel verbreiteter als der äquale Typus, er findet sich, um nur einige Beispiele herauszugreifen, bei zahlreichen Stachelhäutern, bei Ringelwürmern, Mollusken, bei Amphioxus, beim Frosch. Sein äußerer Verlauf ist zunächst ganz der gleiche wie beim äqualen Typus. Zwei meridionale Teilungsebenen lassen hintereinander zwei und vier Zellen entstehen, die alle genau gleich groß sind (Fig. 3a). Die dritte, äquatoriale Teilungsebene ist aber nun nach dem animalen

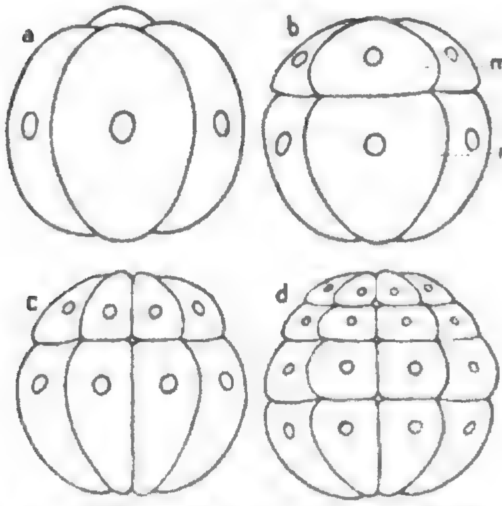


Fig. 3. Schematische Darstellung des total-inäqualen Furchungstypus. a vierzelliges, b achtzelliges, c sechzehnzelliges, d zweiunddreißigzelliges Furchungsstadium von der Seite gesehen. ma Makromeren, mi Mikromeren.

Pol verschoben; die Folge ist, daß von den neu entstandenen acht Zellen die vier dem animalen Pol benachbarten kleiner sind als die vier dotterreicheren vegetativen Zellen. Erstere bezeichnet man als Mikromeren, letztere als Makromeren (Fig. 3b). Die meridionalen Ebenen der nächsten Teilungsperiode halbieren in gleichem Maße alle acht Zellen (Fig. 3c), die folgenden Aequatorialebenen lassen dagegen den Gegensatz in dem verschiedenen Größenausfall der Furchungselemente wieder scharf hervortreten (Fig. 3d), und das Endergebnis ist schließlich eine Blastula, deren Elemente am animalen Pole gegenüber den vegetativen Zellen bedeutend kleiner und auch zahlreicher sind, da sehr bald die Teilungsphasen an diesen plasmareicheren Zellen viel schneller aufeinander folgen als im Bereich des vegetativen Poles. Diesen veränderten Verhältnissen trägt auch der innere Aufbau der Blastula Rechnung, ihre Furchungshöhle erscheint infolge der mächtigeren Ausdehnung der vegetativen Zellen nach dem animalen Pole verschoben (Fig. 12a).

Nach einem zweiten Gesichtspunkt, nach den Achsenverhältnissen des sich entwickelnden Keimes, läßt sich der totale Furchungsmodus in eine Anzahl weiterer Untertypen zerlegen, die sich dann bald mit dem äqualen, bald mit dem inäqualen Typus kombinieren. Die einfachste Form dieser Untertypen stellt der radiäre Typus dar, bei dem der Keim während aller Phasen seiner Furchung in seinen einzelnen Elementen und in seinen Teilungsrichtungen einen radiären Bau zu der durch animalen und vegetativen Pol verlaufenden Hauptachse aufweist. Die oben zugrunde gelegten Schemata würden diesen Typus repräsentieren, er wird weiter ohne weiteres veranschaulicht durch die Figuren 4a und 4b. Am nächsten diesem Typus steht dann der spiralige Typus, wie er sich besonders an den Eiern mariner Strudel- und Ringelwürmer sowie vieler Schnecken und Muscheln findet. Das Wesentliche dieses Typus besteht darin, daß hier nicht wie bei dem radiären Typus die Kernspindeln der jeweiligen Teilungsphasen streng meridional oder äquatorial gelagert sind, sondern daß sie gegen diese Richtungen in einem schrägen Winkel von etwa 45° geneigt erscheinen. Die Folge ist, daß auch die Teilungsebenen der nachfolgenden Zellteilungen nicht mehr die ursprünglichen, dem Radiärtypus zukommenden Lagen zur Hauptachse beibehalten, sondern daß sie eine der verschobenen Spindellage entsprechende Verlagerung gegen dieselbe aufweisen. Die weitere Folge ist, daß in der Anordnung der Furchungszellen selbst sich eine Verschiebung geltend macht, indem sie nun nicht mehr regelmäßig über- oder nebeneinander geordnet sind, sondern gegeneinander in einer der vorausgehenden Zell-

Digitized by Google

teilung entsprechenden Weise verlagert sind (Fig. 4c, d). Die Verlagerung der Kern-

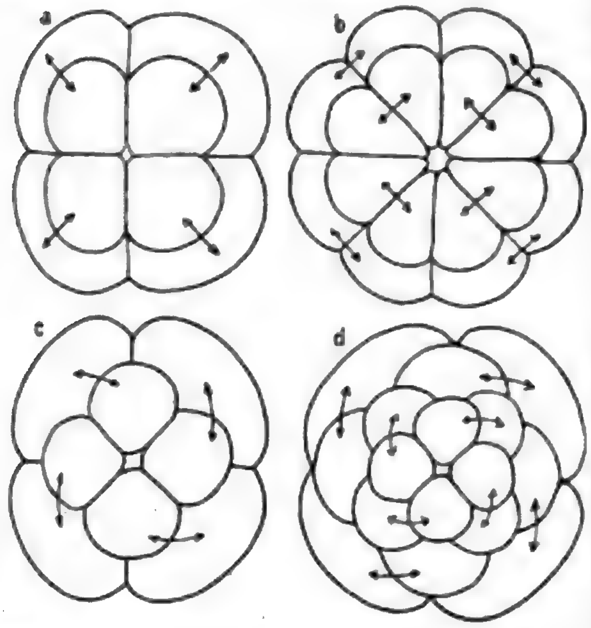


Fig. 4. Vergleichende Gegenüberstellung einiger Furchungsstadien vom Radiär- und vom Spiraltypus. Nach K. Heider aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrb. vgl. Entwicklungsgeschichte. Allg. Teil 1909, Fig. 30. a und b acht- und sechzehnzelliges Stadium des Radiärtypus vom animalen Pole, c und d desgleichen beim Spiraltypus.

teilungsspindel und damit der Teilungsrichtung überhaupt kann vom Standpunkt eines in der Hauptachse des Keimes stehenden und mit dem Kopfe nach dem animalen Pole gerichteten Beschauers aus entweder nach rechts oder nach links hin erfolgen, in ersterem Falle erfolgt die Teilung dexiotrop (Fig. 4c), in letzterem leiotrop (Fig. 4d). Es ist ein weiteres Gesetz bei diesem Typus, daß, da auch hier zwei aufeinanderfolgende Teilungen senkrecht zueinander stehen, regelmäßig dexiotrope und leiotrope Teilungen miteinander abwechseln. Die Folge davon ist, daß die Zellenkränze, die sich um die Hauptachse gruppieren, in ganz regelmäßiger Wechsellage zueinander liegen (Fig. 4c, d), wodurch eine zweifellos günstigere Raumausnützung gegeben ist als beim Radiärtypus. Ein weiterer hier zu nennender Typus ist der bilaterale Typus, wie ihn Amphioxus, besonders schön aber die Ascidien zeigen. Die ersten Furchungsphasen weichen kaum von dem Radiärtypus ab, sehr bald aber geben die Teilungsrichtungen ihre radiäre Stellung zur Hauptachse auf und orientieren sich symmetrisch zu beiden Seiten einer Mittelebene, welche der Bilateralebene des späteren Embryos entspricht (Fig. 5). Ein letzter Typus wäre dann endlich der disymmetrische Typus der Rippenquallen oder Ctenophoren, dadurch ausgezeichnet, daß schon sehr frühzeitig an dem jungen Keim, der im übrigen eine sehr stark inäquale Furchung aufweist, sich die Symmetrieverhältnisse des ausgebildeten Tieres bemerkbar machen. Schon am achtzelligen Furchungsstadium lassen sich die späteren Magen- und Trichterebenen mit Sicherheit feststellen.

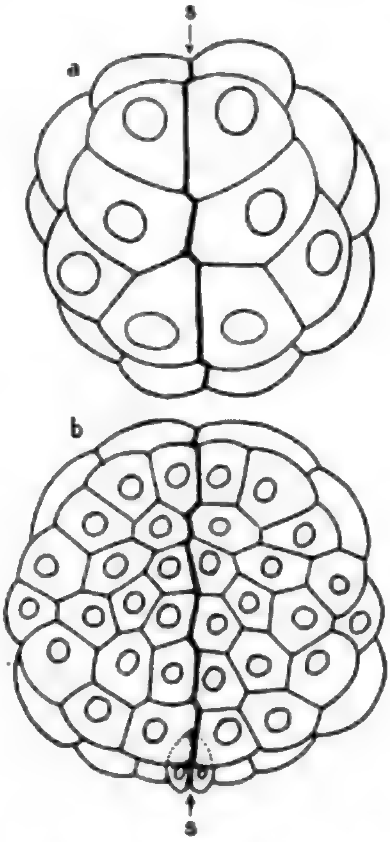


Fig. 5. Zwei Furchungsstadien des Bilateraltypus. Nach Conklin, Journ. experim. Zool. Vol. II 1905. Fig. 3 u. 5. a zwanzigzelliges, b vierundsechzigzelliges Stadium vom animalen Pol. s—s bilaterale Symmetrieebene.

Nach dem totalen Typus furchen sich ferner die Eier der Nematoden und Rotatorien. In beiden Gruppen verlaufen die Furchungsprozesse je in einer durchaus eigenartigen Weise, insofern schon auf den jüngsten Stadien sowohl in dem Teilungsmodus wie in der Gruppierung der einzelnen Elemente sich Beziehungen zum Aufbau und zu den Symmetrieverhältnissen des ausgebildeten Organismus nachweisen lassen. Die Eifurchung der Schwämme, zahlreicher Coelenteraten und Plattwürmer folgt zwar im allgemeinen dem totalen Typus, läßt aber häufig jegliche Gesetzmäßigkeit vermissen.

Und endlich folgen dem totalen Furchungsmodus auch die kleinen dotterarmen Eier der Säugetiere. Das Ei teilt sich zunächst total in zwei Zellen (Fig. 6a), aber damit hört jede weitere Regelmäßigkeit auf, die Teilungen erfolgen völlig unrhythmisch und in regelloser Reihenfolge, so daß drei-, vier-,

Digitized by Google

sechs-, sieben-, neun-, zehnzellige Stadien und so fort zu beobachten sind (Fig. 6b).

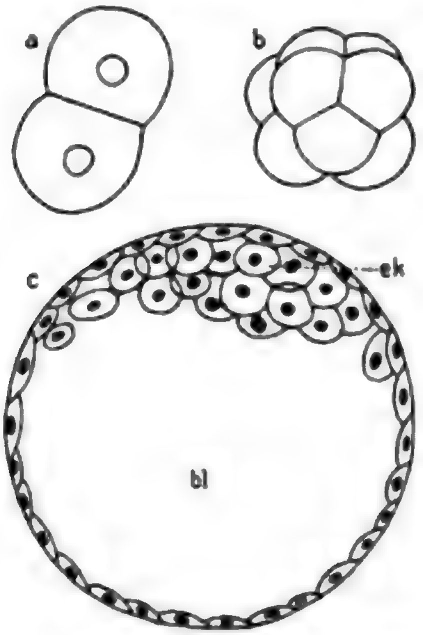


Fig. 6. Totale Furchung des Säugetiereies. a zweizelliges, b mehrzelliges Furchungsstadium des Schafes, c ältere Keimblase eines Kaninchens. Aus O. Hertwigs Handbuch der Entwickelungslehre der Wirbeltiere, I. Bd. 1. Teil 1906, Fig. 244 u. 557. bl mit Flüssigkeit erfüllter Raum der Keimblase, ek Embryonalknoten.

Ebensowenig wie in der Zahl der Blastomeren lassen sich Gesetzmäßigkeiten in der Größe derselben erkennen. Es gelangt das Ei schon während der Furchung in den Uterus, und wird hier in besonderer Weise ernährt, und je nach ihren besonderen, bald besseren, bald schlechteren Ernährungsbedingungen zeigt bald die eine, bald die andere Blastomere eine bedeutendere oder geringere Größe. Das Endergebnis der Furchung ist dann schließlich ein solider Zellenhaufen, eine Morula. Dieses Stadium wächst allmählich an Zellenzahl und Größe heran, es tritt ferner in seinem Innern ein exzentrisch gelegener, mit Flüssigkeit erfüllter Hohlraum auf, der zum größeren Teil von einer einschichtigen Zellenwandung begrenzt wird. Nur an einer Stelle weist diese Wandung eine beträchtliche Verdickung auf, an der Stelle des sogenannten Embryonalknotens (Fig. 6c). Alle diese eigenartigen Furchungsverhältnisse des Säugetiereies lassen sich nur aus einem früheren Dotterreichtum der Eier ihrer Vorfahren verstehen, wie ihn ja tatsächlich jetzt noch die Monotremen aufweisen (vgl. weiter unten S. 270).

β) Diskoidaler Furchungstypus. Derselbe läßt sich unmittelbar aus dem total-inäqualen ableiten. Bei dotterreicheren Eiern von telolecithalem Bau schneiden die Meridianfurchen am vegetativen Pol viel langsamer durch als am animalen, es bleibt so die Zerklüftung des vegetativen Poles gegenüber dem animalen immer mehr zurück. Schon am Froschei läßt sich diese Furchungsverzögerung am vegetativen Pole feststellen, sehr viel stärker ausgeprägt ist sie bei den Eiern der Schmelzschupper oder Ganoiden, wo bereits eine größere Zahl von Mikromeren am animalen Pol gebildet sein kann, bis die Durchschnürung der ersten Meridianfurchen am vegetativen Pole erfolgt (Fig. 7). Stellen

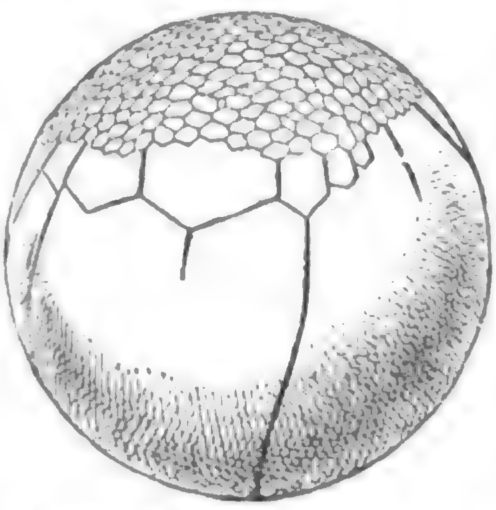


Fig. 7. Aelteres Furchungsstadium von Lepidosteus in seitlicher Oberflächenansicht. Aus O. Hertwigs Handbuch der Entwickelungslehre der Wirbeltiere I. Bd. 1. Teil 1906, Fig. 343.

wir uns eine fortschreitende Dotterzunahme vor, so werden schließlich die Dottermassen am vegetativen Pole so gewaltig werden, daß das den ersten Furchungskern enthaltende Bildungsplasma der Keimscheibe bei den Furchungsteilungen diese Massen mit seinen Kräften nicht mehr bewältigen kann; die Keimscheibe wird sich dann allein teilen, der Dotter wird ungefurcht bleiben, es entsteht der discoidale Furchungstypus. Seine Erscheinungen spielen sich im einzelnen folgendermaßen ab. Die zunächst ungeteilte Keimscheibe (Fig. 8a) zerfällt in zwei Zellen, senkrecht zur ersten Teilungsebene gestellte Teilungen zerlegen sie in vier, weitere in acht, sechzehn und mehr Zellen (Fig. 8c), bis dann schließlich an Stelle der ursprünglichen Eizelle eine aus zahlreichen Blastomeren zusammengesetzte Zellenscheibe getreten ist, welche dem Dotter am animalen Pole aufliegt. Später kann diese zunächst einschichtige Zellenlage dann mehrschichtig werden, sie kann sich ferner vom Dotter abheben und so einen als Furchungshöhle zu deutenden Spaltraum zwischen sich und Dotter treten lassen (Fig. 8d). Weiter spalten sich im Verlaufe der späteren Furchungsvorgänge einzelne Kerne im Zusammenhange mit plasmatischen Massen von der Keimscheibe ab und verlagern sich in den Dotter,

Digitized by Google

sie werden zu Dotterzellen, die eine besondere Rolle bei der späteren Verarbeitung des Dotters spielen (Fig. 8d).

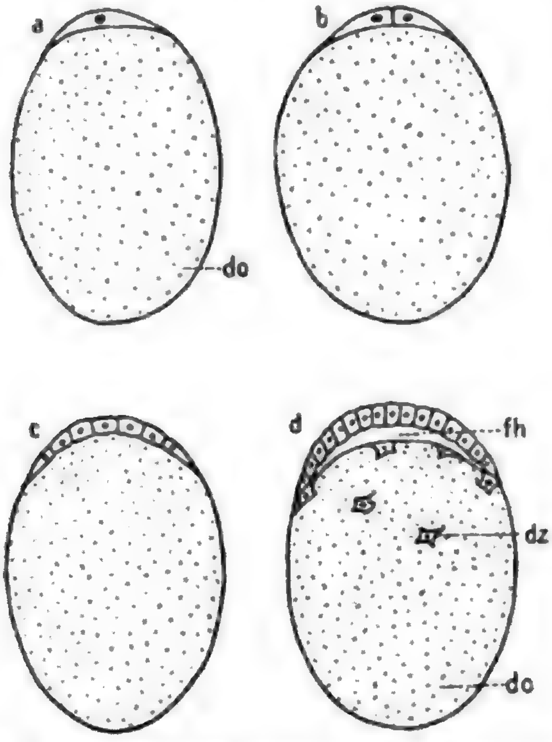


Fig. 8. Schematische Darstellung des diskoidalen Furchungstypus. a einzelliges, b zweizelliges, c mehrzelliges, d vielzelliges Furchungsstadium. do Dotter, dz Dotterzellen, fh Furchungshöhle.

Ausgesprochen diskoidale Furchung spielt sich namentlich an den Eiern zahlreicher Wirbeltiere ab, so bei Haifischen, Knochenfischen, Reptilien und Vögeln. Auf den Furchungstypus dieser letzteren Formen ist auch der oben bereits besprochene eigenartige totale Furchungsmodus des Säugetiereies zu beziehen, bei dem die exzentrisch gelegene große Furchungshöhle die Stelle des ursprünglichen Dotters, der Embryonalknoten die ursprüngliche Keimscheibe andeutet. Auch bei wirbellosen Tieren tritt diskoidale Furchung auf, bei einigen Krebsen, besonders aber bei Skorpionen und Tintenfischen. Und bei letzteren Formen begegnen wir dann wieder der schon beim totalen Typus angetroffenen Erscheinung, daß die Blastomeren sich schon sehr frühzeitig zu beiden Seiten einer scharf ausgeprägten bilateralen Symmetrieebene anordnen. Diese bilaterale Symmetrie tritt bereits am achtzelligen Stadium hervor (Fig. 9b), sie wird später aber noch viel deutlicher (Fig. 9c) und erhält sich sehr lange Zeit in voller Klarheit. Ihre Beziehungen zur späteren Symmetrieebene des ausgebildeten Tieres sind allerdings noch nicht völlig sichergestellt.

γ) Superfizieller Furchungstypus. Auf den ersten Blick scheint dieser Typus in seinem äußeren Verlauf nur schwer an die bisher besprochenen Typen anschließbar zu sein, er findet sich ausschließlich an centrolecithalen Eiern, also besonders bei Insekten, Krebsen und Spinnen. Wie schon

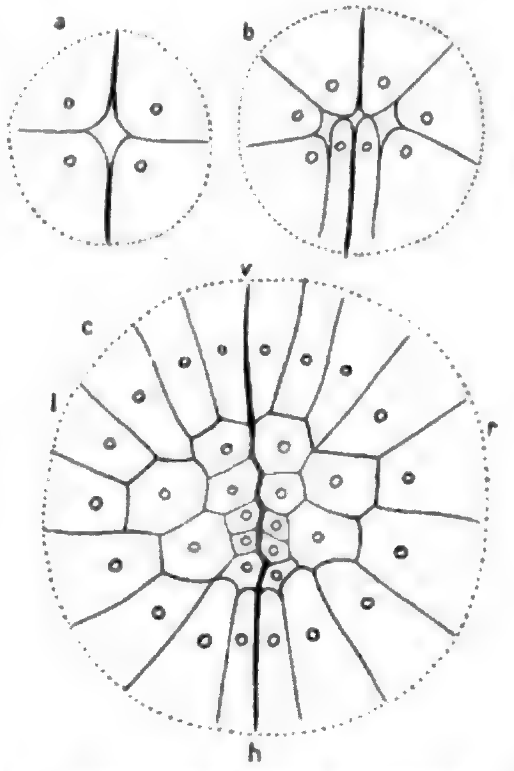


Fig. 9. Keimscheiben eines Tintenfisches. Von oben gesehen. a vierzelliges, b achtzelliges, c zweiunddreißigzelliges Stadium. Schematisiert aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte. Allg. Teil 1909, Fig. 89—91. v vorn, h hinten, l links, r rechts. Die bilaterale Symmetrieebene ist verstärkt ausgezogen.

oben auseinandergesetzt, liegt bei einem solchen centrolecithalen Ei der erste Furchungskern im Innern der zentralen Dottermasse, während die Peripherie von dem plasmatischen Keimhautblastem umschlossen wird. Die Furchung setzt damit ein, daß sich der Furchungskern durch wiederholte Teilungen in zwei, vier und mehr Kerne zerlegt, bis schließlich im Innern des Dotters ein kleiner Haufen von Kernen gebildet ist, von denen jeder von einer kleinen Plasmaanhäufung umgeben ist (Fig. 10a). Mit zunehmender Zahl verteilen sich diese Kerne mehr im Dotter, ordnen sich schließlich in eine der Eioberfläche parallel verlaufende Schicht an und rücken derart gleichmäßig gegen die Peripherie vor (Fig. 10b). Bald berühren sie dieselbe, verschmelzen in ihren plasmatischen Teilen mit dem Keimhautblastem und lagern sich endlich direkt in das letztere ein (Fig. 10c). Das Endergebnis dieses Prozesses ist dann, daß nach zahlreichen an der Peripherie einsetzenden

Digitized by Google

tangentialen Teilungen der Dotter gleichmäßig von einer einschichtigen Lage epithelartig angeordneter Zellen umschlossen ist (Fig. 10d). Einzelne Zellen bleiben im Dotter

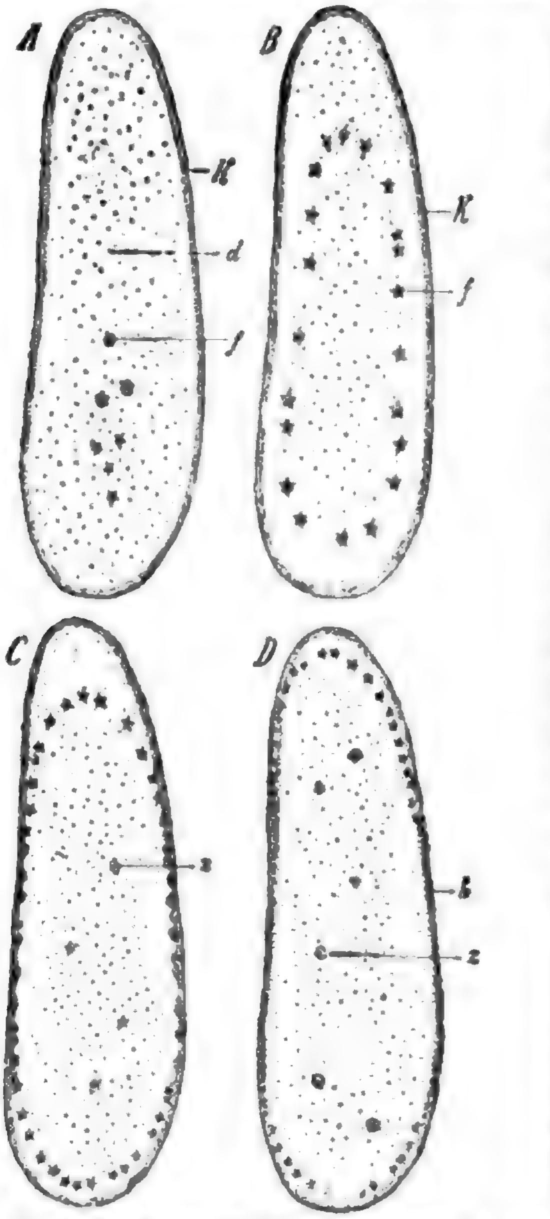


Fig. 10. Superfizieller Furchungstypus eines Insekts (Hydrophilus). A Stadium mit noch wenigen Furchungszellen, B regelmäßige Anordnung derselben, C ihr Eintritt in das Keimhautblastem, D Ausbildung des Blastoderms. Nach K. Heider aus E. Korschelt u. K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte. Allg. Teil 1909. Fig. 72. b ausgebildetes Blastoderm, d Dotter, f Furchungszellen, k Keimhautblastem, z Dotterzellen.

zurück, sie stellen wiederum Dotterzellen dar, die zur späteren Verarbeitung des Dotters bestimmt sind.

Es läßt sich nun auch dieser Furchungstypus auf einen einfacheren, und zwar auf den totalen zurückführen. Uebergangsformen zwischen beiden finden sich nämlich bei den Eiern niederer Insekten und Spinnen. Man begegnet hier der Erscheinung, daß zwar auf den ersten Furchungsstadien der im Inneren des Dotters gelegene Kern sich gleichfalls ohne Beeinflussung des Dotters teilt, daß aber dann nach dem achtzelligen Stadium die Furchung auch auf den Dotter übergreift und denselben in eine Anzahl regelrechter Blastomeren zerlegt, die je einen Furchungskern enthalten und sogar zwischen sich eine Furchungshöhle einschließen. Der Keim besitzt also nun ganz das Aussehen eines total-äqual sich furchenden Eies. Erst auf späteren Stadien verwischen sich diese Blastomerengrenzen wieder, der Dotter fließt von neuem zu einer einheitlichen Masse zusammen und die plasmatischen Zellen ordnen sich mit ihren Kernen an der Peripherie entsprechend dem superfiziellen Typus an. Aus diesen Zwischenformen läßt sich besonders deutlich erkennen, wie sehr es das Wechselverhältnis zwischen Dottermasse und Bildungsplasma ist, welches den Typus der Furchung bestimmt. Vermögen die inneren Kräfte der sich teilenden Furchungszellen den umgebenden Dotter zu bewältigen und wie Kern und Plasma zu zerklüften, so folgt daraus ein totaler Furchungstypus; erweist sich die Masse des Dotters als zu mächtig, so teilen sich die Furchungszellen allein in Kern und Plasma und schließen sich unter Austritt aus dem Dotter an dessen Peripherie zu den für die weiteren Entwickelungsvorgänge notwendigen Zellverbänden zusammen, wir haben einen superfiziellen Furchungsmodus vor uns.

2b) Ausbildung der Primitivanlagen. Begriff der Keimblätter. Die Endstadien des Furchungsprozesses haben bei aller Verschiedenheit im einzelnen das gemeinsam, daß bei ihnen, zum wenigsten äußerlich, noch eine sehr große Gleichheit aller Elemente nach Aussehen und Lagerung besteht. Differenzierungen sind höchstens insofern angedeutet, als der geringere oder größere Dotterreichtum die Größe beeinflußt, als die Isolierung von Dotterzellen innerhalb des Dotters diesen Elementen eine besondere Lagerung zuweist, und als endlich feine innere Strukturverhältnisse einzelne Furchungselemente schon frühzeitig als Bildner besonderer Organe oder Organkomplexe erkennen lassen. Eine wirkliche räumliche Sonderung aus dem gemeinsamen Verbande heraus hat jedoch noch nicht stattgefunden, dies ist erst die Aufgabe der jetzt zu besprechenden Entwickelungsperiode, die man gewöhnlich als die Periode der Keimblätterbildung bezeichnet.

Zum vollen Verständnis des Begriffs der Keimblätter wird ein kurzer historischer Exkurs unentbehrlich sein. Der erste Forscher, welcher auf tatsächlichen Beobachtungen beruhende Anschauungen über Aufbau und Differenzierung des Eikeims

Digitized by Google

entwickelte, war Kaspar Friedrich Wolff. In seiner 1759 bis 1764 erschienenen Theoria generationis unterschied er am Hühnchenkeim eine Anzahl von nacheinander aus den Säften des Embryos abgesonderten Häuten und ließ aus diesen den ganzen Embryo sich aufbauen. Seine Beobachtungen fanden ihre Fortführung erst im Jahre 1817 durch Pander, der nun schon genauer drei Schichten in der Entwickelung des Hühnchens auseinander hielt, ein äußeres durchsichtiges und glattes seröses Blatt, ein inneres undurchsichtiges und körniges Schleimblatt und drittens ein zwischen beiden gelegenes mittleres Blatt, das Gefäßblatt. Und endlich brachte dann K. E. von Baer in seinen grundlegenden Abhandlungen „Ueber Entwickelungsgeschichte der Thiere" (1828 bis 1837) die Schichten des jungen Embryos in bewußten Zusammenhang mit den späteren Organanlagen. Er unterscheidet am Wirbeltierkörper vier durch sukzessive Sonderung auseinander hervorgehende Grundschichten, und zwar: 1. eine äußere Schicht, welche die äußere Haut und das Nervenrohr liefert (Hautplatte + Markplatte); 2. eine Fleischschicht, aus der Muskeln und Knochen hervorgehen; 3. eine Gefäßschicht, die Herz, Gefäße und Gekröse enthält; 4. eine zu unterst gelegene Schleimhautschicht, die Bildnerin der Darmwandung. Morphologische und histologische Sonderung läßt aus diesen Blättern die einzelnen Organe hervorgehen. Die weitere Ausgestaltung erfuhr der Begriff dieser den Keim aufbauenden Blätter durch Remak (1851 bis 1855), der gegenüber dem morphologischen Aufbau die physiologische Leistung in den Vordergrund stellte und demgemäß unterschied ein oberes sensorielles, ein mittleres motorisches und ein unteres trophisches Blatt. Das erste entspricht der äußeren Schicht v. Baers und liefert neben der äußeren Haut und deren Sondergebilden Nervensystem und Sinnesorgane; das motorische Blatt ist gleichwertig der Fleisch- und Gefäßschicht, es liefert also Chorda, Urwirbel, mithin Muskeln und Skelett, weiter die innere Leibeswand, die Geschlechtsorgane und das Gefäßsystem; das trophische Blatt entspricht der Schleimhautschicht, es liefert das Darmrohr nebst dessen Anhangsdrüsen, weiter Lungen und Nieren (letztere als Ausstülpungen der Kloakenwand aufgefaßt).

Das bisherige Ergebnis war also die Aufstellung dreier, in ihrer organbildenden Leistung durchaus scharf definierter Blätter, sogenannter Keimblätter, am Wirbeltierembryo; die ferneren Bestrebungen mußten nun, bei der zunehmenden Erkenntnis eines ganz allgemeinen Zusammenhangs aller Tierformen, darauf hinausgehen, die gleichen Blätter auch bei wirbellosen Tieren aufzufinden und damit ihre Homologie in der gesamten Tierreihe zu erweisen. Dies geschah zunächst in unmittelbarem Anschluß an die Anschauungen v. Baers durch Rathke, der zuerst für Fisch und Frosch das Vorhandensein der genannten Blätter feststellte, dann aber diese Homologisierung weiter auch auf den Embryonalkeim des Flußkrebses ausdehnte. Einen weiteren Schritt in der Homologisierung der Keimblätter tat Huxley (1849), indem er bei den Coelenteraten (Medusen) einen Aufbau aus zwei Häuten nachwies, von denen die eine als äußere Schicht die Körperbedeckung und die Verteidigungsorgane enthielt, die innere die Organe der Ernährung und Fortpflanzung repräsentierte. Beide homologisierte Huxley durchaus mit den entsprechenden Blättern der Wirbeltiere, mit der serösen Schicht und der Schleimhautschicht. Das gleiche führte dann (1871) Kowalevsky für die Würmer durch, bei denen er ein oberes sensorielles Blatt für Haut und Nervensystem, ein unteres Blatt für den Darmkanal und ein mittleres Blatt für Leibeshöhle und Muskulatur nachwies.

Die endgültige konsequente Durchführung dieser Anschauungen, wie sie dann in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts erfolgte, ist geknüpft an die Namen Ray Lankester und Ernst Haeckel. Beide versuchten, die Homologie der Keimblätter auf phylogenetischem Wege zu begründen, indem sie eine Urform aufstellten, in deren Organisation in primitivster Form die Schichten enthalten waren, welche auf bestimmten Entwickelungsstadien bei allen Tieren sich wiederfinden sollten. Für Ray Lankester war diese Urform die zweischichtige Planula, seine Theorie heißt daher die Planulatheorie. Als Ausgangspunkt dient ihm das einzellige Ei, der Monoplast, aus ihm geht durch Zellteilung der Polyplast, die Morula und weiterhin die Blastula, hervor. Das dritte Stadium bildet dann die Planula, hervorgegangen aus dem Polyplast durch Spaltung der Blastulawand in eine äußere und eine innere Zellschicht, in Ectoderm und Entoderm. Letzteres umschließt einen inneren Hohlraum, das Archenteron oder den Urdarm, der später nach außen durchbricht. Die Bildung eines mittleren Blattes geht teils vom äußeren, teils vom inneren Blatt aus, ersteres spaltet durch Delamination eine Muskelskelettschicht ab, letzteres liefert durch sich abschnürende Urdarmdivertikel das Cölomepithel; beide Neubildungen, die im einzelnen in ihrer Ausbildungsform stark modifiziert werden können, stellen zusammen den Mesoblasten dar, gegenüber ihren Mutterschichten, dem Epiblast und Hypoblast.

Haeckels Ausgangspunkt bildete die

Invaginationsgastrula (die nach Ray Lankesters Auffassung sich erst sekundär aus der Planula herausgebildet haben soll), seine Theorie ist als die Gastraeatheorie allgemein bekannt. Unter Gastrula versteht Haeckel einen einachsigen ungegliederten Hohlkörper, der sich aus zwei Körperschichten zusammensetzt, aus einem Dermalblatt und einem Gastralblatt. Letzteres umschließt den Urdarm, der durch den Urmund mit der Außenwelt in Verbindung steht. Von dieser Gastrula leiten sich monophyletisch alle höheren Tiere ab und mithin sind die beiden Schichten der Gastrula in den beiden primären Keimblättern aller Tiere wiederzufinden und also überall homolog. Erst später trat noch eine dritte Schicht hinzu, die auch nach Haeckel in zwei Lagen zu scheiden ist, von denen die eine nähere Beziehungen zum Ectoderm, die andere zum Entoderm hat, die aber beide später sich zu einer Einheit, eben zu einem mittleren Blatt, zusammenschließen. Ursprünglich lieferte jede Lage des mittleren Blattes für sich eine Hülle besonderer Zellen, einen Hautmuskelschlauch und einen Darmmuskelschlauch, zwischen beiden bildete sich ein besonderer Raum aus, die Leibeshöhle oder das Cölom. Letzteres tritt zum ersten Male bei den höheren Würmern auf und hat sich von ihnen auf alle übrigen höheren Tierstämme übertragen. Aus diesen drei Keimblättern entstehen nun alle Organe des Tierkörpers und diese Herkunft ist entscheidend für ihre Homologie. Homolog sind überall Epidermis und Nervensystem als Derivate des Ectoderms, homolog ist der Darmkanal als Derivat des Entoderms, homolog sind endlich stets die Muskulatur, Endoskelett, Cölom, Blutgefäßsystem, Mesenterien als Derivate des Mesoderms.

Beide Theorien stimmen prinzipiell darin überein, daß die beiden Schichten der Urform, sei es nun der Planula oder der Gastrula, dem äußeren und inneren Keimblatt (Ectoderm und Entoderm) gleichzusetzen und in ihrer Homologie durch die ganze Tierreihe zu verfolgen seien. Auch hinsichtlich der Ableitung des mittleren Blattes fallen beide Theorien fast zusammen, insofern wenigstens nach beiden dasselbe durch Abspaltung von Elementen der primären Blätter entsteht. An diesem mittleren Blatt setzt dann eine nochmalige weitere Ausgestaltung der Keimblätterlehre ein, es bedurfte dieses Blatt noch einer schärferen Präzisierung, und dies geschah durch die Cölomtheorie von Oscar und Richard Hertwig. Hiernach stellt das mittlere Blatt keine Einheit dar, sondern zerfällt genetisch in zwei völlig verschiedene Begriffe. Einmal in das Mesenchym, welches seinem ersten Ursprung nach auf das Gallertgewebe der Coelenteraten zurückzuführen ist und sich dann bei Plattwürmern und Mollusken (Pseudocölier) hoch entwickelt hat. Es leitet sich in regelloser Form aus einem der beiden primären Keimblätter ab, liefert Muskelfasern, Stützsubstanzen, Blutgefäße, und stellt in seiner Gesamtheit ein Maschenwerk locker geordneter Zellen dar, welche zwischen sich die Hohlräume des Schizocöls einschließen. Das eigentliche mittlere Keimblatt wird dagegen durch das Cölom repräsentiert. Dasselbe stellt genetisch einen Teil des Urdarms dar, von dem aus es sich als paarige Divertikel bildet. Letztere umschließen nach ihrer Abschnürung ebenfalls einen Hohlraum, das Enterocöl oder die sekundäre Leibeshöhle, die im Gegensatz zum Schizocöl von einer regelrechten epithelialen Wandung ausgekleidet ist. Von Organen liefert das Cölomepithel die Körpermuskulatur, Exkretions- und Geschlechtsorgane. Es besitzen ein solches Cölom die Anneliden, Enteropneusten, Chaetognathen, Echinodermen, Arthropoden, Tunicaten und Vertebraten (Enterocölier).

Als wesentlichster Inhalt der Lehre von den Keimblättern ist also die Aufstellung dreier embryonaler Schichten anzusehen, welche in der ganzen Tierreihe einander homolog zu setzen sind, insofern sie einmal die gleichen topographischen Beziehungen zueinander aufweisen und ferner stets die gleichen Organe aus sich hervorgehen lassen. In der auf ihre Begründung folgenden Zeit hat diese Lehre allgemeine Anerkennung gefunden und erst in neuerer Zeit haben Zweifel an ihrer Richtigkeit mehr und mehr an Berechtigung und Bedeutung gewonnen. An Gegnern freilich hat es ihr von Anfang an nicht gefehlt. Viele wandten sich vor allem gegen die Gastraeatheorie Haeckels, so Claus (1874), der die Homologie der Keimblätter für undurchführbar erklärte, so His, der in den 60er und 70er Jahren seinen eigenen Standpunkt vertrat und das mechanische Geschehen in der Ontogenese besonders hervorhob. Ein radikaler Gegner der Keimblattlehre war ferner Kleinenberg (1886), der in dem mittleren Keimblatt nichts anderes als eine Summe heterogener Anlagen sah, die sich nur scheinbar einheitlich darstellten. In noch größerem Gegensatz zur Keimblattlehre stehen neuere Anschauungen, die sich im Anschluß an Ausführungen eines der ältesten Gegner der Keimblattlehre, K. B. Reicherts (1843), entwickelt haben. Dieselben setzen an Stelle der Keimblätter Primitivanlagen (Primitivorgane nannte sie Reichert), die im prinzipiellsten Gegensatz zu den Keimblättern keine fest fixierten Begriffe darstellen, sondern wandelbar sind. Der Ausgangspunkt muß in allen Fällen die einzelne Organanlage

Digitized by Google

sein, die in ihrem noch undifferenzierten Zustand eben als Primitivanlage zu bezeichnen ist. Sondert sich dieselbe von vornherein selbständig aus dem noch undifferenzierten Keimmaterial heraus, so ist sie ihrem Wert nach leicht als die Anlage eben dieses betreffenden Organes zu bestimmen. Es können aber auch mehrere Organanlagen sich zunächst in einem gemeinsamen Anlagekomplex vereinigen, der äußerlich vorerst undifferenziert erscheint und erst sukzessive die einzelnen Organe aus sich hervorgehen läßt. Wir haben jetzt eine zusammengesetzte Primitivanlage vor uns, sie bietet sehr viel größere Schwierigkeiten hinsichtlich der Beurteilung ihres organbildenden Wertes, und eine Homologisierung zwischen mehreren derartigen Gebilden kann erst auf Grund des Nachweises gleicher Entstehung und gleicher Konstitution erfolgen. Es kann ein solcher Begriff wohl hier und da mit dem zusammenfallen, was man gewöhnlich als das eine oder andere Keimblatt bezeichnet hat, braucht es aber nicht notwendig zu tun. Ganz sicher besteht keine volle Homologie dieser Primitivanlagen durch die ganze Tierreihe, denn diese sind ebensowenig starre Begriffe wie die Organe und Organismen selbst, sie sind wandelbar, können Organanlagen von sich abspalten, andere in sich aufnehmen, sie können sich in ihrer räumlichen und zeitlichen Differenzierung verschieben. Die folgende Darstellung basiert im wesentlichen auf diesen Anschauungen.

Einige Bemerkungen über die mechanischen Vorgänge, die sich bei der Bildung der Primitivanlagen abspielen, mögen endlich noch vorausgeschickt werden. Bei der Furchung handelte es sich ja fast ausschließlich um einfache Zellteilungen mit nachfolgenden geringfügigen Zellverschiebungen. Nun treten neue kompliziertere Erscheinungen hinzu, vor allem Faltenbildung und Delamination. Vorbedingung für beide ist, daß die Zellelemente einer einfachen Zellenschicht sich so stark vermehren, daß sie innerhalb der vorhandenen Fläche keinen Platz mehr haben. Bei Faltenbildung führt dies dann zu einer Krümmung der sich gegenseitig pressenden Zellen aus dem flächenhaften Zellverband heraus. Es entsteht eine Ausstülpung in Form eines Hügels oder einer Falte, wenn die Krümmung sich über die Fläche erhebt, es entsteht eine Einstülpung in Form von Gruben oder Rinnen, wenn sie unter die Fläche einsinkt. Die begonnene Bewegung innerhalb der Schichten kann dann schließlich zur völligen Abschnürung von der Mutterschicht unter Bildung von Bläschen oder Röhren führen. Bei der Delamination häufen sich dagegen die Zellelemente bei übermäßiger Vermehrung in einer lokalen Verdickung im Inneren der Schichten an, worauf dann eine einsetzende Kontinuitätstrennung diesen verdickten Zellkomplex von seiner Unterlage loslöst. Als eine besondere Form der Delamination kann man wohl auch die Zellauswanderung ansehen. Auch hier tritt zunächst in einer Zellschicht eine überstarke Zellvermehrung auf, aber der Zellüberschuß löst sich nicht in geschlossenem Verbande los, sondern die Zellen treten einzeln aus dem Mutterepithel aus. Von nun an spielen ferner Wachstumsvorgänge eine wichtige Rolle, sie nehmen mit fortschreitender Entwickelung ständig an Intensität zu.

a) Bildung des Entoderms. Unter Entoderm verstehen wir die Primitivanlage, welche ausschließlich der verdauenden Höhlung des Embryos den Ursprung gibt. Sie fehlt nur wenigen Tierformen und ihre Homologie ist durch die Tierreihe hindurch mit großer Wahrscheinlichkeit dargetan. Ihre Ausbildung erfolgt teils durch Einstülpung, teils durch Delamination.

Der typische Verlauf einer Entodermbildung durch einfache Einstülpung spielt sich in der Weise ab, daß sich an der einfachen Zellenblase der Blastula am vegetativen Pole eine Einsenkung ausbildet, die sich stetig vertieft und schließlich fast den gegenüberliegenden animalen Pol erreicht. Der Keim ist so aus einem einschichtigen zu einem zweischichtigen geworden, er besteht jetzt aus einem äußeren Ectoderm und einem inneren Entoderm (Fig. 11).

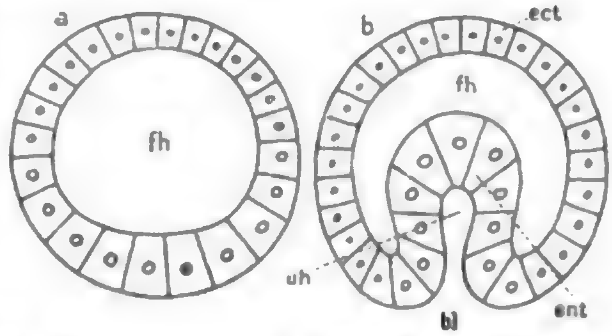


Fig. 11. Schematische Darstellung der Ausbildung einer Invaginations-Gastrula. bl Blastoporus, ect Ectoderm, ent Entoderm, fh Furchungshöhle, uh Urdarmhöhle.

Der neugebildete, vom Entoderm umschlossene Hohlraum stellt die Urdarmhöhle oder die Gastralhöhle dar, die Oeffnung, durch welche letztere am vegetativen Pole mit der Außenwelt kommuniziert, den Blastoporus. Beide Schichten des Keimes unterscheiden sich schon frühzeitig dadurch, daß die Entodermzellen größer und von Nährsubstanzen erfüllt sind.

Wenn bei telolecithalen Eiern unter dem Einfluß der am vegetativen Pole angehäuften

Digitized by Google

Dottermassen die Furchung stark inäqual verläuft, so können naturgemäß die großen Zellen des vegetativen Poles sich nicht mehr in die ihrem oberen Ende aufsitzende Kappe von Mikromeren einstülpen (Fig. 12a), und es spielt sich dann der Vorgang der Entodermbildung in einer abweichenden mechanischen Form ab. Es beginnen nämlich dann die Mikromeren unter reichlicher Vermehrung sich an den Seitenrändern über die Makromeren hinzuschieben, sie greifen schließlich gar auf die vegetative Seite über und umwachsen so die Makromeren (Fig. 12b).

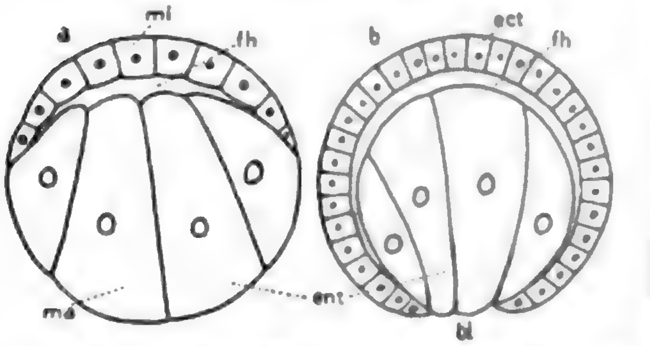


Fig. 12. Schematische Darstellung der Ausbildung einer epibolischen Gastrula. bl Blastoporus, ect Ectoderm, ent Entoderm, fh Furchungshöhle, ma Makromeren, mi Mikromeren.

Das Endergebnis ist auch hier ein zweischichtiger Keim, der sich aus einem äußeren vielzelligen Ectoderm und einem inneren, zunächst nur aus wenigen sehr großen dottererfüllten Makromeren bestehenden Entoderm zusammensetzt. Die offene Stelle am vegetativen Pol ist natürlich auch hier als Blastoporus zu bezeichnen, dagegen tritt die Urdarmhöhle zunächst noch ganz zurück. Doch liefern die Makromeren hier ganz ebenso wie bei dem erstbesprochenen Bildungsmodus die innere Epithellage des späteren Darmtractus.

Es kann sich also nach unseren bisherigen Betrachtungen das Entoderm bald durch Einstülpung (Invagination oder Embolie), bald durch Ueberwachsung (Epibolie) bilden; beide Modi sind keine prinzipiellen Gegensätze, es entscheidet vielmehr einzig und allein der Dotterreichtum des Eies darüber, welcher von beiden Modi eintritt, und daher ist es auch verständlich, daß wir vielfach beide an demselben Keim miteinander verknüpft antreffen (beispielsweise am Froschei). Es finden sich im übrigen diese Formen der Entodermbildung namentlich bei zahlreichen Würmern, Muscheln und Schnecken vor, vereinzelt bei Coelenteraten, Krebsen und Wirbeltieren, wir begegnen ihnen ferner kombiniert mit anderen Primitivanlagen bei Sagitta und den Echinodermen.

Dem geschilderten Modus der Entodermbildung steht nun ein zweiter gegenüber, der Bildungsmodus durch Delamination. Er tritt wohl in seiner typischsten Form bei zahlreichen Hydroiden auf. Die ursprünglich rundliche Blastula nimmt hier allmählich eine eiförmige Gestalt an, ihre Wandzellen wandeln sich in hohe Zylinderzellen um, insbesondere am Hinterende, und dort beginnt dann auch die Entodermbildung. Einzelne der hohen Zylinderzellen treten unter Abrundung ihrer Form aus dem Epithelverband aus, wandern in die Furchungshöhle ein (Fig. 13a) und erfüllen dieselbe schließlich vollständig. Alsdann bildet sich im

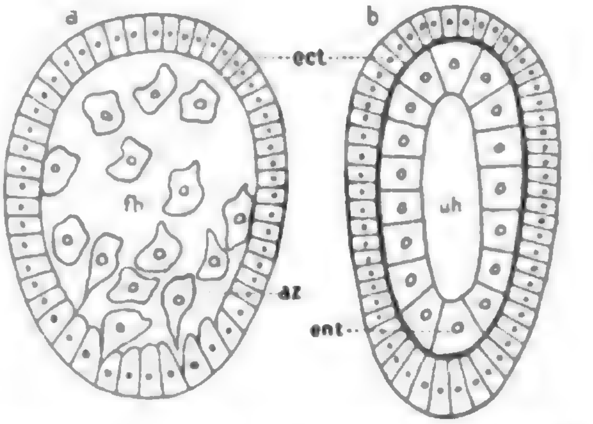


Fig. 13. Schematische Darstellung der Ausbildung einer Delaminations-Gastrula. az auswandernde Entodermzellen, ect Ectoderm, ent Entoderm, fh Furchungshöhle, uh Urdarmhöhle.

Inneren der zentralen Zellenmasse eine Längsspalte aus, die sich vergrößert und schließlich die nunmehr vom Entoderm umschlossene Gastralhöhle darstellt (Fig. 13b). Auf einem gänzlich anderen Wege ist somit wiederum das Stadium eines zweischichtigen, aus Ectoderm und Entoderm bestehenden Keimes erreicht. Auch dieser Modus kann im einzelnen mancherlei Abänderungen zeigen. Diese betreffen einmal den Ort der Einwanderung, insofern an Stelle der polar bestimmten Einwucherungszone eine allseitige an der ganzen Peripherie treten kann (bei einzelnen Medusen), oder aber sie betreffen die Entstehungsform der Entodermzellen, insofern neben normaler Einwanderung noch radiäre Zellteilungen zur Bildung dieser Elemente Veranlassung geben können. So verläuft beispielsweise die Entodermbildung bei unserem Süßwasserpolypen, der Gattung Hydra.

Ganz wie die Furchung müssen diese ursprünglicheren Typen der Entodermbildung stark modifiziert werden bei sehr dotterreichen Eiern, wo die Bewältigung des Dotters auch auf dieser Entwickelungsphase noch große Schwierigkeiten bereitet. Bei Eiern mit diskoidaler Furchung erfolgt die Entodermbildung zumeist durch Einwuche-

Digitized by Google

rung von Elementen der zunächst noch einschichtigen Keimscheibe, so beim Skorpion (Fig. 14a), wo die Einwucherungsstelle in der Symmetrieebene des späteren Embryos und dessen Hinterende genähert liegt, so bei den Tintenfischen (Fig. 14b), wo die Einwucherungszone in hufeisenförmiger Gestalt den hinteren Rand der Keimscheibe umzieht. In beiden Fällen ist das Ergebnis ein zweischichtiger Keim, dessen beide Schichten übereinander angeordnet flächenartig ausgebreitet dem Dotter aufliegen. Unter den Wirbeltieren treffen wir bei den Formen mit dotterarmen Eiern noch eine deutliche Invaginationsgastrula an, so bei Amphioxus. Beim Frosch ist der Einstülpungsvorgang sehr innig mit einem Umwachsungsprozeß von seiten der Mikromeren verbunden, bei den Fischen tritt die eigentliche Einstülpung noch stärker zurück und es schieben sich die Entodermzellen unter lebhaften Wucherungsvorgängen von einem am Hinterende des Keimes auftretenden Blastoporusspalt aus zwischen Ectoderm und Dotter ein. Bei den Vögeln ist dann jede Spur eines ursprünglichen Blastoporus verloren gegangen und es findet eine unmittelbare Spaltung der Keimscheibe in zwei Lagen statt, in eine äußere einschichtige, welche das Ectoderm darstellt, und in eine innere, deren zunächst lockere kugelige Elemente sich später zu einer zusammenhängenden Zellenplatte, eben dem Entoderm, vereinigen. Und ganz ähnlich verhalten sich auch die Säugetiere, wo ebenfalls durch direkte Abspaltung das innere Blatt des Entoderms gebildet wird (Fig. 14c), wo man

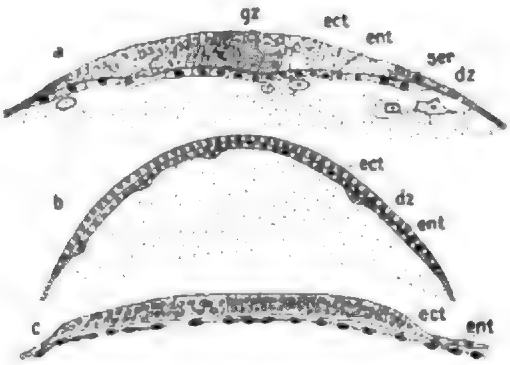


Fig. 14. Bildung des Entoderms bei sehr dotterreichen Eiern: a Schnitt durch die Keimscheibe eines Skorpions. Nach A. Brauer, Zeitschr. wissensch. Zool. 57. Bd. 1894, Taf. 20 Fig. 23. b Schnitt durch die Keimscheibe eines Tintenfisches. Nach E. Teichmann, Verhandl. Deutsch. Zool. Gesellsch. 1903; c Schnitt durch den Embryonalschild eines Hundeeies. Aus O. Hertwigs Handbuch der Entwickelungslehre der Wirbeltiere I. Bd. 1. Teil 1906, Fig. 562. dz Dotterzellen, ect Ectoderm, ent Entoderm, gz Genitalzellenanlage, ser Serosa.

aber, wenigstens bei manchen Formen, noch deutliche Rudimente einer ursprünglichen Einstülpungsstelle nachgewiesen haben will.

In durchaus eigenartiger Weise vollzieht sich die Entodermbildung an den dotterreichen Eiern der Arthropoden. Bald entsteht es durch eine regelrechte Einstülpung des Blastoderms, so beim Flußkrebs, bald durch Einwucherung, so bei Skorpionen und Spinnen, bald geht es aus Dotterzellen hervor, wie besonders bei Tausendfüßern und niederen Insekten, wobei dann die Dotterzellen entweder von vornherein bei der Furchung im Dotter liegen bleiben oder aber nachträglich aus dem Blastoderm in den Dotter zurückwandern.

β) Mesodermale Bildungen. Wenn hier der Ausdruck mesodermal beibehalten wird, so geschieht dies nur, um eine Anzahl von Primitivanlagen zusammenzufassen, die ihrer zeitlichen Entstehung nach sich gewöhnlich an die Entodermbildung anschließen und räumlich eine Lage zwischen Ectoderm und Entoderm einnehmen. Der Begriff ist also rein topographisch aufzufassen, über die Homologie seiner einzelnen Elemente ist mit dem gemeinsamen Namen nichts ausgesagt.

1. Bildung von Mesenchymzellen. Unter Mesenchymzellen sind Zellen embryonalen Charakters zu verstehen, die in der primären Furchungshöhle zwischen Ectoderm und Entoderm gelegen sind, hier in der Regel durch unregelmäßige pseudopodienartige Fortsätze miteinander verbunden ein weitmaschiges Netzwerk bilden und zumeist die Bildner von Binde- und Stützsubstanzen sowie von Muskulatur darstellen. Ihre Entstehung ist zumeist mit mehrfach zusammengesetzten Primitivanlagen verbunden, nur selten ist ihre Anlage eine ganz unmittelbare und isolierte. So beispielsweise in der Klasse der Stachelhäuter, wo bei den Seeigeln die Mesenchymzellen noch vor der Entodermbildung auftreten, indem einzelne Zellen im Bereich des vegetativen Poles aus der Blastulawand austreten und sich in der Furchungshöhle zerstreuen (Fig. 15a). Erst nachher setzt dann die Bildung des Entoderms ein. Bei den Seesternen ist die Primitivanlage der Mesenchymzellen schon nicht mehr so vollständig isoliert. Sie tritt hier an der Spitze einer Einstülpung auf, welche in sich außerdem noch die Elemente des Entoderms und des Cöloms enthält, und zwar in der Form, daß das blinde Ende dieser Einstülpung eine blasige Auftreibung erfährt und sodann die stark abgeplatteten Zellen dieser Auftreibung in die primäre Furchungshöhle austreten und hier sich zerstreuen (Fig. 15b). Die organbildende Leistung der Mesenchymzellen be-

Digitized by Google

steht in dem Aufbau des Kalkskeletts, der Muskulatur und des Bindegewebes.

2. Urmesodermzellen und Mesodermstreifen. Die Urmesodermzellen stellen sehr charakteristische Bildungen in der Embryonalentwickelung der Würmer und Mollusken (mit Ausnahme der Cephalopoden) dar. Sie sind in sehr vielen Fällen direkt bis auf den Furchungskeim zurückzuverfolgen, insbesondere bei den sich spiralig furchenden Eiern. Es werden hier von den vegetativen Makromeren, wie jetzt noch ergänzend den früheren Angaben hinzugefügt sei, im ganzen drei Generationen von Ectodermzellen abgeschnürt. In der vierten Teilung liefern die Makromeren bereits reine Entodermzellen, mit der einzigen Ausnahme einer am hinteren Ende des Keimes gelegenen Makromere (gewöhnlich mit dem Buchstaben D bezeichnet), deren viertes Teilprodukt eben die zunächst unpaare Urmesodermzelle ist. Dieselbe teilt sich sehr bald bilateral, die neu entstandenen Zellen rücken in das Innere des Furchungskeimes hinein, wo sie ihre Lage im hinteren Abschnitt desselben beibehalten, und lassen durch sukzessive Abgliederung neuer kleinerer Elemente aus sich jederseits einen Zellenstreifen hervorgehen. Beide Streifen schieben sich zwischen Ectoderm und das inzwischen gebildete Entoderm ein, nehmen eine streng bilateral symmetrische Lagerung zu beiden Seiten der Mittellinie ein und werden nun als Mesodermstreifen bezeichnet (Fig. 16). Nicht immer und überall sind die Urmesodermzellen auf junge Furchungsstadien zurückzuverfolgen, häufig sind sie erst auf späteren Entwickelungsperioden erkennbar, wenn sie aus dem Ectoderm heraus sich in die primäre Furchungshöhle einzuschieben beginnen (so bei Regenwürmern und Blutegeln), stets aber geht auch dann aus ihnen zunächst ein Mesodermstreifen hervor.

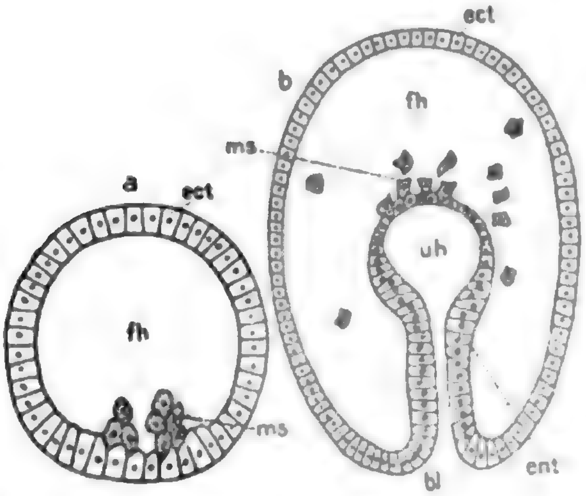


Fig. 15. Ausbildung von Mesenchymzellen bei den Echinodermen. a bei einem Seeigel, b bei einem Seestern. Aus Meisenheimer, Entwickelungsgeschichte der Tiere I. Bd. 1908, Fig. 10 u. 13. bl Blastoporus, ect Ectoderm, ent Entoderm, fh Furchungshöhle, ms auswandernde Mesenchymzellen, uh Urdarmhöhle.

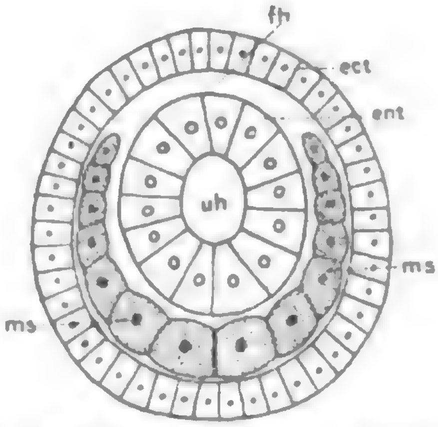


Fig. 16. Schematische Darstellung eines Urmesodermstreifens im Frontalschnitt durch den jungen Keim eines Ringelwurmes oder eines Weichtiers. ect Ectoderm, ent Entoderm, fh Furchungshöhle, ms Urmesodermstreifen, uh Urdarmhöhle.

So sehr große Aehnlichkeit auch Urmesodermzellen und Mesodermstreifen in ihrem Auftreten und ihrer ersten Ausgestaltung bei Würmern und Mollusken zeigen, in ihren organbildenden Leistungen differieren sie ganz außerordentlich. Bei den Mollusken erfolgt sehr bald eine regellose Auflösung ihrer Elemente und deren Umbildung in Bindegewebe und Muskelzellen, bei den Würmern geht aus ihnen neben den gleichen Elementen noch das Cölom samt den mit letzterem verbundenen Organen hervor. Die Vorgänge, welche zur Ausbildung des Cöloms führen, setzen ein mit einer Gliederung jedes Mesodermstreifens in zahlreiche hintereinander gelegene Abschnitte, die in ihrem Inneren je eine kleine Höhlung entwickeln. Die so entstandenen, von Mesodermstreifenzellen gebildeten Säckchen entsprechen paarweise je einem Körpersegment, sie werden als Somiten bezeichnet. Die Scheidewände, welche sie voneinander trennen, heißen Dissepimente, ihr Innenraum stellt das Cölom oder die sekundäre Leibeshöhle dar. Entsprechend der Lage der Mesodermstreifen liegen diese Somiten ursprünglich durchaus rein ventral, später aber beginnen sie auch dorsalwärts sich mächtig auszudehnen und umwachsen schließlich von beiden Seiten her den Darm (Fig. 17). Die innere Wand der Somitensäckchen legt sich dabei dicht dem Darm an, sie stellt nun das viscerale Blatt oder die Splanchnopleura des Cöloms dar; in ähnlicher Weise legt sich die äußere Wand dem Ectoderm an, sie bildet das parietale Blatt oder die Somatopleura. Dorsal

Digitized by Google

wie ventral vom Darm stoßen die beiderseitigen Somitensäckchen mit ihren Wänden aneinander, sie liefern hier die dorsalen und ventralen Aufhängebänder des Darmes, die Mesenterien, die später mehr oder weniger

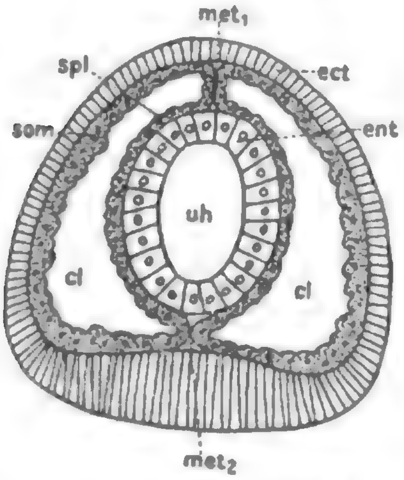


Fig. 17. Schematische Darstellung der Ausbildung des Cöloms, im Querschnitt durch den Körper eines jungen Ringelwurms. cl Cölom, ect Ectoderm, ent Entoderm, $met_{1,2}$ dorsales und ventrales Mesenterium, som Somatopleura, spl Splanchnopleura, uh Urdarmhöhle.

zurückgebildet werden können. Weiter differenzieren sich dann späterhin aus den Wänden des Cöloms neben Muskel- und Bindegewebszellen noch zahlreiche andere Organe, wie Gefäße, Nieren, Geschlechtsorgane; es stellt also der Mesodermstreifen der Würmer oder das daraus hervorgehende Cölom eine sehr kompliziert strukturierte Primitivanlage dar.

Das Auftreten von Urmesodermzellen ist im übrigen außerhalb der genannten Tiergruppen nur selten noch im Tierreich beobachtet worden. So beispielsweise bei niederen Krebsen (Copepoden), wo ebenfalls eine einzige Zelle des sich furchenden Keimes zwei in die Tiefe sinkenden Urmesodermzellen den Ursprung gibt. Dagegen fehlen Urmesodermzellen durchaus den Echinodermen und Amphioxus, im Gegensatz zu den Angaben älterer Autoren.

3. Bildung von Mesoderm durch Urdarmdivertikel. In ihrer typischsten Form begegnen wir Urdarmdivertikeln wohl bei der Gattung Sagitta, d. h. also bei Angehörigen der kleinen Gruppe der Pfeilwürmer oder Chaetognathen. Aus einer sehr regelmäßigen Blastula geht durch eine tiefe Einstülpung eine dem äußeren Aussehen nach zunächst durchaus normale zweischichtige Gastrula hervor (Fig. 18a). Sehr bald zeigt sich aber, daß in dem eingestülpten inneren Blatt nicht nur das Entoderm, also der Bildner des Mitteldarms, enthalten ist, sondern daß daneben noch zwei andere Organanlagen in dasselbe eingeschlossen sind. Zunächst die Urgeschlechtszellen, welche sich zuerst absondern und als große Elemente aus dem Zellverbande austreten (Fig. 18a, b), weiter aber auch noch mesodermale Bestandteile, die sich durch seit-

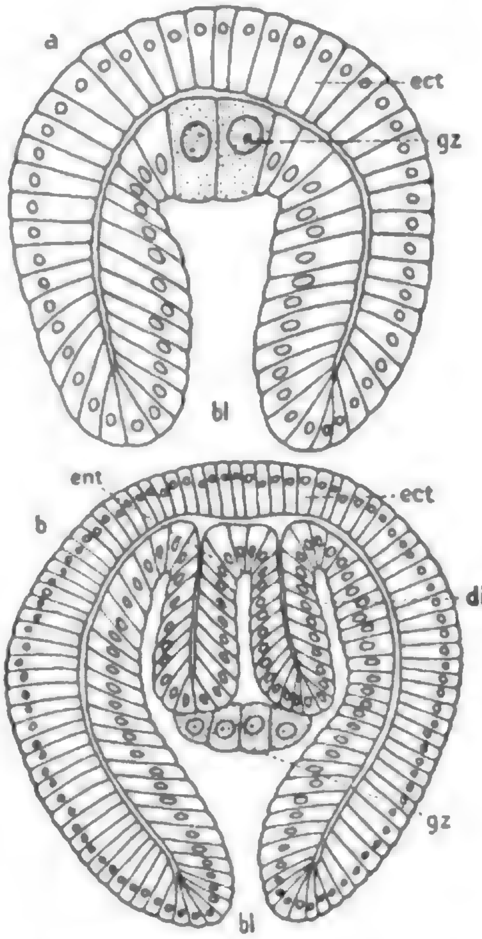


Fig. 18. Ausbildung von Entoderm, Urdarmdivertikeln und Urgeschlechtszellen bei Sagitta, in zwei aufeinander folgenden Stadien. Nach O. Hertwig, Jen. Zeitschr. Naturwiss. 14. Bd. 1880, Taf. XIV Fig. 3 und 8. bl Blastoporus, di Urdarmdivertikel, ect Ectoderm, ent Entoderm, gz Urgeschlechtszellen.

liche Faltenbildung des inneren Blattes bemerkbar machen (Fig. 18b) und schließlich als Säckchen abschnüren. Letztere wandeln sich alsdann, während der mittlere Abschnitt des inneren Blattes nun die völlig isolierte Anlage des Mitteldarms darstellt, in eine Art kompakter Mesodermstreifen um. Dabei erfahren sie schon während der Abschnürung eine Sonderung in einen vorderen bläschenartigen Abschnitt, welcher die mächtige Kopfmuskulatur liefert, und in einen hinteren umfangreicheren Teil, in dem später durch eine sekundär auftretende Spaltung cölomartige Höhlen entstehen, welche die Geschlechtszellen aufnehmen und mit einem Teil ihrer Wandung sich zu Muskulatur umbilden. Ein Vergleich dieser Körperhöhlen mit den segmental angeordneten

Cölomhöhlen der Würmer begegnet großen Schwierigkeiten.

Ganz allgemein verbreitet sind Urdarmdivertikel ferner bei den Echinodermen. An der Spitze der tiefen Einstülpung eines inneren Blattes treten laterale Aussackungen auf (Fig. 19a), die sich alsbald abschnüren und in Form zweier kleiner Bläschen der Darmanlage, welche nun das innere Blatt in reiner Form darstellt, anlegen (Fig. 19b). Man bezeichnet diese Bläschen in der Regel als Vasoperitonealblasen, sie liefern teils die Auskleidung der inneren Leibeshöhle, teils ein für die Stachelhäuter sehr wichtiges Organ, das Wassergefäßsystem.

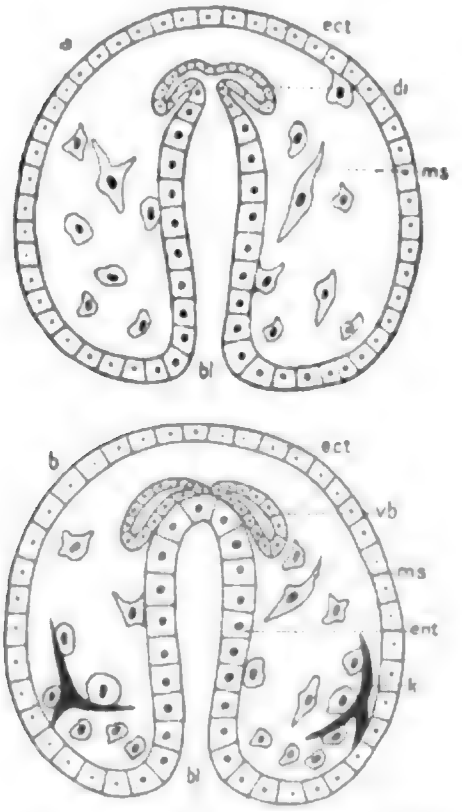


Fig. 19. Ausbildung der Vasoperitonealblasen eines Seeigels aus Urdarmdivertikeln. Schematisch nach E. Selenka, Zeitschr. wiss. Zool. Bd. 33, 1879. bl Blastoporus, di Urdarmdivertikel, ect Ectoderm, ent Entoderm, k Kalkskelett, ms Mesenchymzellen, vb Vasoperitonealblasen.

Endlich finden sich Urdarmdivertikel als Bildner mesodermaler Komplexe noch bei Balanoglossus, also bei der isoliert stehenden Gruppe der Enteropneusten. In engster Beziehung zur Organisation des ausgebildeten Tieres treten hier an dem inneren Blatt drei Paare von Ausstülpungen auf, ein vorderes Paar, welches stets in Zusammenhang bleibt und das sogenannte Eichelcölom liefert, ein mittleres Paar als Bildner des Kragencöloms und endlich ein hinteres Paar als Bildner des Rumpfcöloms. Indessen sind in der Entstehungsweise dieser Bildungen starke Modifikationen festzustellen, vor allem können an Stelle der Ausstülpungen solide Zellwucherungen treten.

4. **Mesodermbildung der Gliedertiere.** Als Mesoderm ist bei den dotterreichen Eiern der Gliedertiere ein Zellenkomplex zu bezeichnen, der sich seiner Lage nach zwischen Blastoderm und Dottersubstanz einschiebt und seine Entstehung in recht mannigfacher Weise aus Teilen des Blastoderms nimmt.

Wir beginnen am besten mit den Spinnen, wo die Verhältnisse mit am leichtesten darzustellen sind. Die den Dotter umschließenden Blastodermzellen sammeln sich hier vorzugsweise auf der späteren Ventralseite des Embryos in Form eines Keimstreifens an und an dieser Stelle treten dann in Verbindung mit einer knopfförmigen Verdickung des Blastoderms, dem sogenannten Cumulus primitivus, lebhafte Wucherungsprozesse auf, die schließlich zur Bildung einer selbständigen Zellenschicht zwischen Dotter und Blastoderm führen (Fig. 20a). Diese mehrschichtige

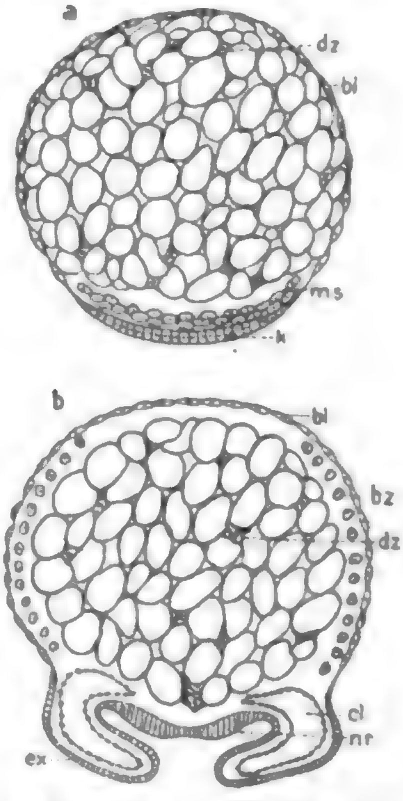


Fig. 20. Mesoderm- und Cölombildung am Spinnenei. a Querschnitt durch ein jüngeres, b durch ein älteres Stadium. Schematisiert aus Meisenheimer, Entwickelungsgeschichte der Tiere I. Bd. 1908, Fig. 14. bl Blastoderm, bz Blutzellen, cl Cölom, dz Dotterzellen, ex Extremitätenanlage, k Keimstreifen, ms Mesodermanlage, nr Anlage des Nervensystems.

Zellenlage erfährt dann weitere Umbildungen dadurch, daß sie durch einen medianen Spalt in zwei seitliche Längsstreifen zerlegt wird und daß ferner diese letzteren durch quere

Digitized by Google

Einschnitte in zahlreiche hintereinander gelegene Abschnitte zerteilt werden, in Somiten, wie wir sie schon bei den Ringelwürmern kennen lernten. Jeder dieser Somiten tritt in eine der kleinen, auf der Ventralseite hervorknospenden Extremitätenanlagen ein, bildet hier in seinem Inneren eine Höhlung aus und wird so zu einem Cölomsäckchen (Fig. 20b). Späterhin umwachsen die Cölomsäckchen in der oben bereits bei den Ringelwürmern geschilderten Weise den inzwischen ausgebildeten Darm, erfahren dann aber eine völlige Auflösung ihrer Wände. Aus ihren Elementen gehen Muskeln, Parenchymgewebe sowie das Herz hervor.

Ganz ähnlich verlaufen die entsprechenden Vorgänge bei den Skorpionen. Bei den Krebsen ist wenigstens die Bildungsweise des Mesoderms häufig die gleiche, insofern Wucherungen des Keimstreifen-Blastoderms ihm den Ursprung geben (Flußkrebs), zuweilen mit höchst eigenartiger regelmäßiger Anordnung der Bildungszellen in Längsreihen (Isopoden). Dagegen verhalten sich die Krebse insofern recht abweichend, als es bei ihnen wohl nie zur Bildung wirklicher Cölomhöhlen kommt, die Differenzierung der einzelnen Organkomplexe vielmehr unmittelbar aus der mesodermalen Primitivanlage vor sich geht.

Bei den meisten Insekten erfolgt die Anlage des Mesoderms in Form einer längs der Ventralseite des Embryos verlaufenden rinnenförmigen Einstülpung (Fig. 21a). Diese Rinne, die sich entweder zu einem Rohre abschnürt (Fig. 21b, c) oder aber der Ausgangspunkt lebhafter Zellenwucherungen ist, liefert die Elemente des Mesoderms. Dieselben breiten sich in mehrfacher Schicht zwischen Dotter und äußerem Blastoderm flach aus, weichen in zwei zu beiden Seiten der Medianebene gelegene Längsstreifen auseinander und zerfallen sodann in eine Anzahl hintereinander gelegener Abschnitte, der Somiten oder Ursegmente, die in ihrem Inneren wiederum Cölomhöhlen zur Ausbildung bringen (Fig. 21d). Die weitere Differenzierung ist sehr kompliziert. Die eigentliche innere Cölomhöhle geht auch hier vollständig verloren, während aus den Elementen der Cölomwandung die mannigfachsten Gewebe und Organe hervorgehen. Ein Teil wird zu Muskelzellen und Fettkörpern, andere Elemente legen sich der Darmwandung unter Bildung des Peritonealepithels an, wieder andere liefern Herzwandung und Pericard oder Teile des inneren Geschlechtsapparates.

5. Mesodermbildung der Wirbeltiere. Die Auffassung der Mesodermbildung der Wirbeltiere hat in neuerer Zeit eine so eingreifende Umgestaltung der älteren Anschauungen erfahren und steht zum Teil noch derart mitten in der lebhaftesten Diskussion, daß es nicht ganz leicht ist, eine kurze zusammenfassende Darstellung zu

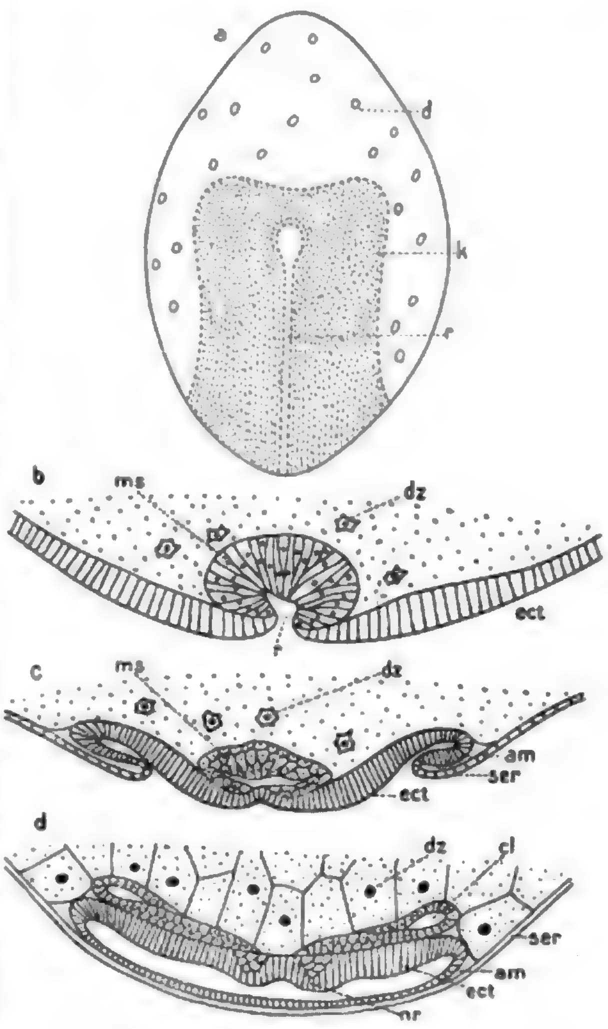


Fig. 21. Mesoderm- und Cölombildung am Insektenei. a Oberflächenansicht der Keimstreifenanlage einer Libelle, b—d Querschnitte durch den Keimstreifen eines Wasserkäfers in drei aufeinander folgenden Stadien. Aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte Allg. Teil 1910, Fig. 269 und 271. am Amnion, cl Cölom, d Dotter mit Dotterzellen, dz Dotterzellen, ect Ectoderm, k Keimstreifen, ms Mesodermanlage, nr Anlage der Bauchganglienkette, r rinnenförmige Vertiefung des Keimstreifens, ser Serosa.

geben. Am besten wählen wir als Ausgangspunkt die Amphibien, also etwa einen Frosch oder einen Molch. Nachdem die dotterreichen vegetativen Zellen während der Gastrulation völlig ins Innere des Keimes verlagert sind, erfolgt in unmittelbarem Anschluß an diese Verlagerung die Ausbildung der sogenannten Dorsalplatte. Dieselbe entsteht in der Weise, daß vom dorsalen Rande der hinten gelegenen Einstülpungsöffnung des Blastoporus her neue Zellelemente nach innen gedrängt werden und sich unmittelbar unter der Dorsalfläche des Embryos nach vorn vorschieben (Fig. 22a). Nach den einen ist diese Zellenplatte ein

Digitized by Google

unmittelbarer Bestandteil des Entoderms, nach den anderen ist sie eine selbständige Primitivanlage, die nichts mit dem Entoderm zu tun hat. Die Zellenplatte breitet sich schließlich nach den Seiten hin aus, sich dabei zwischen Ectoderm und Entoderm einschiebend (Fig. 22b), sie enthält die An-

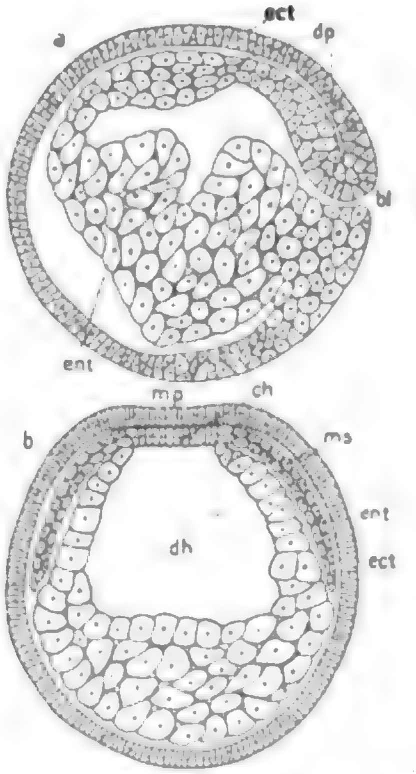


Fig. 22. Ausbildung des Entoderms und der Chordamesodermanlage bei Triton. Nach O. Hertwig, Jen. Zeitschr. Naturwiss. 15. Bd. 1882, Taf. XIII Fig. 3, 11. bl Blastoporus, ch Chordaanlage, dh Darmhöhle, dp Dorsalplatte, ect Ectoderm, ent Entoderm, mp Medullarplatte.

lage zweier wichtiger Organkomplexe, der Chorda und des Mesoderms.

Zunächst erfolgt die Differenzierung der Chorda, die aus dem mittleren Streifen der Zellenplatte hervorgeht, sich als solider Strang von den seitlichen Partien absondert (Fig. 23a, b) und als primitives Stützskelett die ganze Dorsalseite des Embryos durchzieht. Komplizierter verlaufen die Vorgänge bei der Ausbildung des Mesoderms. Die beiden seitlichen, durch die Chorda voneinander getrennten Zellenplatten ordnen ihre Zellelemente in zwei Epithellagen an, die zwischen sich einen feinen Spaltraum einschließen, die Cölomhöhle (Fig. 23a). Wiederum gehen hier die Auffassungen auseinander. Nach den einen sind diese Cölomhöhlen entstanden zu denken durch Abfaltung vom Urdarm, müssen also als typische Urdarmdivertikel gelten, für welche Auffassung namentlich die Verhältnisse des Amphioxus als Stütze herangezogen werden; nach den anderen bilden sie sich unabhängig vom Entoderm als Spalten innerhalb der Seitenteile der Dorsalplatte. Die weiteren

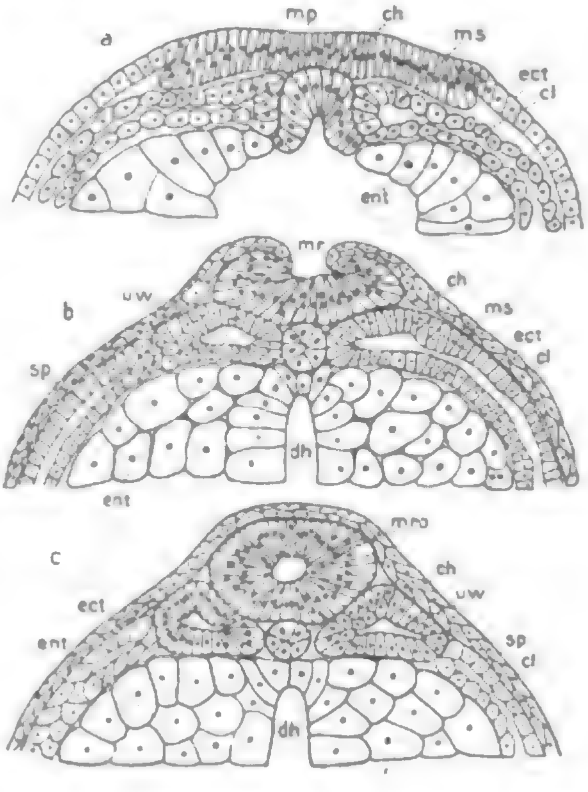


Fig. 23. Differenzierung der Chordamesodermanlage bei Triton. Nach O. Hertwig, Jen. Zeitschr. Naturwiss. 15. Bd. 1882, Taf. XIV Fig. 4, 7, 8. ch Chorda, cl Cölom, dh Darmhöhle, ect Ectoderm, ent Entoderm, mp Medullarplatte, mr Medullarrinne, mro Medullarrohr, ms Mesoderm, sp Seitenplatten, uw Urwirbel.

Entwickelungsvorgänge liegen klar. Ins Innere der Cölomspalten vorwachsende Zellwände gliedern zunächst jede Mesodermplatte in einen oberen und einen unteren Abschnitt (Fig. 23b, links). Beide Abschnitte haben ein sehr verschiedenes Schicksal. Der obere zerfällt jederseits von vorn nach hinten in eine Anzahl aufeinander folgender Kästchen, in die Ursegmente oder Urwirbel (Fig. 23b, c), der untere bleibt jederseits als einheitlicher Komplex, als sogenannte Seitenplatte, erhalten. Die Urwirbel enthalten in sich eine ganze Reihe von Organanlagen, sie liefern aus ihrem obersten als Myotom bezeichneten Abschnitt den größten Teil der Körpermuskulatur, sie geben mit ihrem untersten, als Nephrotom bezeichneten Abschnitt den Nierenkanälchen den Ursprung, sie entwickeln endlich in ihren mittleren Abschnitten, dem sogenannten Sklerotomdivertikel, das skelettbildende Gewebe. Die Seitenplatten, welche das Entoderm nach unten hin umwachsen und schließlich in der ventralen Mittellinie von beiden Seiten her zusammenstoßen, erleiden sehr viel weniger eingreifende Umgestaltungen. Ihr innerer Spaltraum bleibt als sekundäre Leibeshöhle mit ihren besonde-

Digitized by Google

ren Differenzierungen (Pericardhöhle, Pleurahöhle, Peritonealhöhle) erhalten, ihre Wandungen legen sich als somatisches Blatt der äußeren Körperwand, als splanchnisches Blatt den Eingeweiden an (Fig. 24a). Indem die

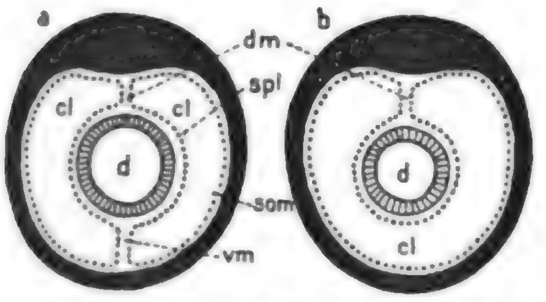


Fig. 24. Schematische Darstellung der Ausbildung der Mesenterien bei einem Wirbeltier. a Querschnitt durch ein jugendliches, b durch ein älteres Stadium. Aus Meisenheimer, Entwickelungsgeschichte der Tiere II. Bd. 1908, Fig. 24. cl Cölom, d Darm, dm dorsales Mesenterium, som Somatopleura, spl Splanchnopleura, vm ventrales Mesenterium.

splanchnischen Blätter von beiden Seiten her den Darm zwischen sich fassen, wird letzterer in einer von beiden Blättern gebildeten Falte gegenüber der Körperwand fixiert, derart, daß die splanchnischen Blätter gewissermaßen als Aufhängebänder des in der sekundären Leibeshöhle schwebenden Darmes erscheinen (Fig. 24a). Man nennt diese Aufhängebänder Mesenterien, sie bleiben besonders dorsalwärts erhalten, wo sie zur Bildung des Gekröses Veranlassung geben, während sie ventralwärts in sehr bedeutendem Umfange rückgebildet werden (Fig. 24b).

Bei den höheren Wirbeltieren, bei Reptilien, Vögeln und Säugern rufen die Vorgänge, welche im Inneren zur Bildung der Chordamesodermanlage führen, äußerlich am Keime eine Reihe bemerkenswerter Erscheinungen hervor. Betrachten wir zunächst etwas näher die Vögel. Wir lernten von ihrem Ei bereits die Bildung des Entoderms kennen, das sich vom Ectoderm abspaltete und als lockere Zellenschicht unmittelbar darunter anordnete. Nun liegen die Elemente dieser Schicht im Zentrum der Keimscheibe lockerer, breiten sich hier über einer kleinen Höhlung aus, und so erscheint dieser mittlere Abschnitt heller gegenüber der dunkleren Randzone, tritt als heller Fruchthof (Area pellucida) gegenüber dem dunklen Fruchthof (Area opaca) hervor (Fig. 25). In dem hellen Fruchthof macht sich alsbald eine weitere Differenzierung bemerkbar, insofern auf seiner Oberfläche ein zarter Längsstreifen (Primitivstreifen) auftritt, der sehr bald in seiner Mitte eine feine Furche aufweist (Primitivrinne, Fig. 25). Es stellt dieser Längsstreifen den Bezirk der Chordamesodermbildung dar, insofern hier lebhafte Wucherungen des Ectoderms auftreten, deren Zellenmaterial sich nach beiden Seiten hin ausbreitet und dabei zwischen Ectoderm

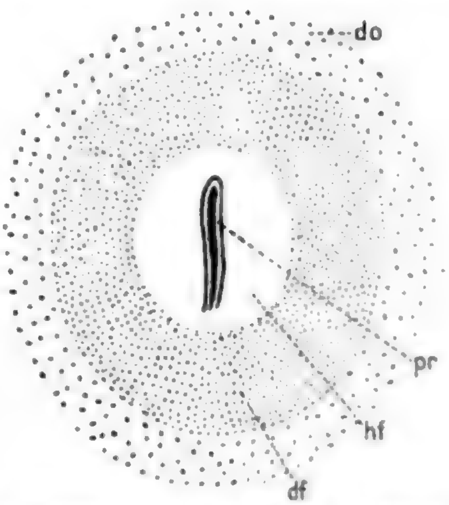


Fig. 25. Keimscheibe eines Hühnchens mit hellem (hf) und dunklem (df) Fruchthof sowie mit Primitivstreifen (pr). do Dotteroberfläche.

und Entoderm einschiebt (Fig. 26a). Das Produkt dieser Vorgänge ist wiederum eine Zellenplatte, an der, nachdem sie sich völlig vom Ectoderm losgelöst hat, nun ganz die gleichen Erscheinungen auftreten, wie sie bereits geschildert sind. Das heißt, es sondert sich zunächst ein mittlerer Strang als Chordaanlage von den Seitenteilen ab (Fig. 26b) und letztere erfahren dann eine weitere Differenzierung in Urwirbel und Seitenplatten (Fig. 26c). Ein Spaltraum im Innern der

Fig. 26. Differenzierung der Chordamesodermanlage beim Hühnchen. a—c Querschnitte der Keimscheibe in drei aufeinander folgenden Stadien. Aus Meisenheimer, Entwickelungsgeschichte der Tiere I. Bd. 1908, Fig. 17. ch Chorda, chms Chordamesodermanlage, cl Cölom, do Dotter, ect Ectoderm, ent Entoderm, ms Mesoderm, nr Anlage des Zentralnervensystems, sp Seitenplatte, uw Urwirbel.

Digitized by Google

letzteren stellt wiederum die sekundäre Leibeshöhle dar.

Bei den Säugetieren zeigen die entsprechenden Differenzierungsvorgänge eine ganz außerordentlich große Aehnlichkeit mit denen der Reptilien und Vögel, obwohl das Säugetierei infolge seiner Dotterarmut ein ganz anderes Aussehen darbietet als die dotterreichen Eier jener Formen. Es läßt sich diese Uebereinstimmung, die so ganz in Widerspruch mit den mechanischen Vorbedingungen des ontogenetischen Geschehens steht, nur phylogenetisch erklären, und zwar dadurch, daß die Säugetiere ursprünglich ebenfalls dotterreiche Eier besaßen, wie sie jetzt nur noch die Monotremen (Schnabeltier und Ameisenigel) aufweisen. Mit der Entwickelung und Ernährung der Jungen im Uterus der Mutter ging der Dotter als überflüssig verloren, erhalten blieb aber trotzdem der ursprüngliche Modus der Bildung der Primitivanlagen. Es läßt sich dies schon beobachten bei der Bildung des Entoderms, jetzt tritt es noch offensichtlicher hervor. Der Embryonalknoten, dessen Bildung wir schon kennen lernten, plattet sich zu einer flachen, der kugeligen Embryonalblase aufliegenden Scheibe ab, zu dem Embryonalschilde. In dessen Bereich kommt es zunächst zur Abspaltung des Entoderms nach innen und dann tritt auf seiner Oberfläche ebenfalls ein Primitivstreifen auf (Fig. 27),

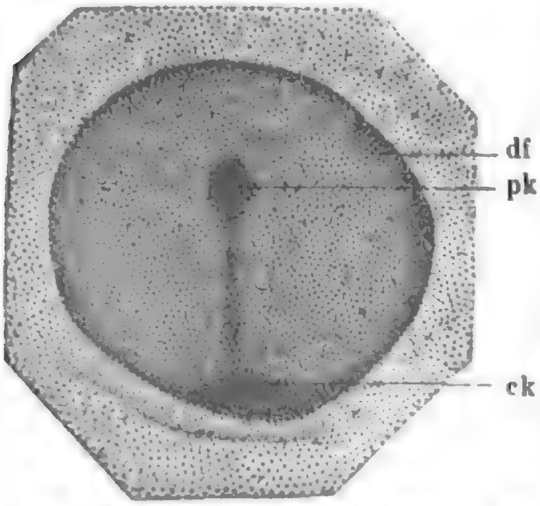


Fig. 27. Embryonalschild eines Hundeeies mit Primitivstreifen (pk—ck) und dunklem Fruchthof (df). Aus O. Hertwigs Handbuch der vergleichenden Entwickelungslehre der Wirbeltiere I. Bd. 1. Teil 1906, Fig. 592.

der als Ausgangspunkt lebhafter Zellwucherungen die mittlere Embryonalschicht liefert, die wiederum Chorda und Mesoderm den Ursprung gibt. Vom Menschen kennen wir derart junge Stadien noch nicht. Es wird der Embryonalschild beim Kaninchen etwa 7 Tage, beim Hunde etwa 10 bis 15 Tage nach der Befruchtung angelegt und bald darauf tritt auch der Primitivstreifen auf. Die jüngsten bekannten menschlichen Embryonen gehören der zweiten Woche an, sie zeigen bereits die Anlage des Zentralnervensystems in der Form der Medullarrinne, dahinter aber noch Reste des Primitivstreifens. So daß mit Sicherheit anzunehmen ist, daß die ersten Entwickelungsstadien des menschlichen Eies ganz ähnlich verlaufen wie bei den übrigen Säugern.

γ) Ausbildung der Urgeschlechtszellen. Früher leitete man die Geschlechtszellen ganz allgemein aus dem Mesoderm ab, d. h. also aus jener mittleren Schicht, welche eine große Zahl von Einzelanlagen in sich enthält. Eingehendere Untersuchungen haben mehr und mehr die Loslösung dieser Primitivanlage aus der scheinbar einheitlichen Masse des Mesoderms ermöglicht, so daß wir jetzt schon in einer ganzen Reihe von Fällen die Urgeschlechtszellen auf ganz bestimmte, sehr früh in der Embryonalentwickelung auftretende Anlagen zurückführen können. Die wichtigsten Tatsachen darüber seien hier mitgeteilt. Sie beziehen sich zunächst auf einen Nematoden, den Pferdespulwurm (Ascaris megalocephala). Am Ei desselben treten schon zwischen den beiden ersten Furchungskugeln Unterschiede insofern hervor, als bei der erneuten Teilung derselben die eine, die größere von ihnen, beträchtliche Stücke ihrer Chromosome abstößt, während die kleinere eine normale

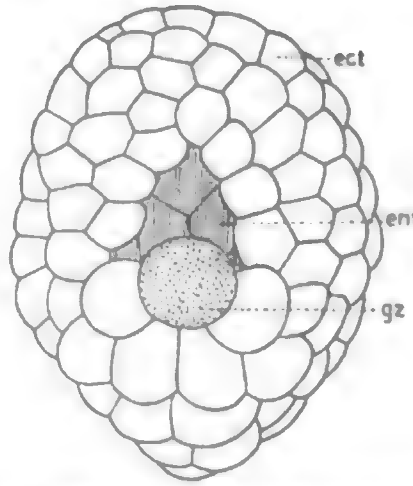


Fig. 28. Junger Embryo von Ascaris von der Ventralseite. Nach Th. Boveri, Festschrift v. Kupffer 1899, Taf. 44 Fig. 29a. ect Ectoderm, ent die eingestülpten Entodermzellen, gz Urgeschlechtszelle.

Zellteilung durchmacht. Die Teilprodukte der ersten Zelle sind in allen ihren späteren Generationen rein somatische Zellen, sie zeichnen sich durch kleinere chromatinarme Kerne aus. Bei der nächsten Teilung der kleineren Zelle erleidet die eine der beiden neuen Tochterzellen ebenfalls eine Chromatin

verminderung und wird so wiederum zu einer Ursomazelle, und dies wiederholt sich mit den Teilprodukten der kleineren Zelle im ganzer fünfmal, so daß also insgesamt fünf Generationen von Ursomazellen entstehen, welche den ganzen Körper des Wurmes liefern. Und ihnen steht gegenüber eine einzige großkernige Zelle, die nunmehr, nachdem sie fünf Soma-Generationen abgestoßen hat, die völlig rein isolierte Urgeschlechtszelle darstellt (Fig. 28), und durch weitere, nicht mehr der Chromatinverminderung unterworfene Teilungen die Geschlechtszellen des Tieres hervorbringt. Dieselben liegen zunächst auf der Ventralseite des Tieres am Hinterrande des Blastoporus, werden aber später in das Innere verlagert.

Eine ähnlich frühe und scharfe Differenzierung der Geschlechtszellen ist von Fliegen bekannt. Hier sondern sie sich aus dem Blastoderm in Form einer kleinen Gruppe kugeliger Zellen, sogenannter Polzellen, die sich am hinteren Ende des Keimes anhäufen. Ihre Bildungsgeschichte ist wohl am genauesten bei einer Cecidomyide, bei Miastor metroloas, verfolgt worden. In dem superfiziell sich furchenden Keim teilt sich der Furchungskern zunächst in zwei und vier Kerne. In der nächsten Teilungsperiode machen nun drei der vorhandenen Kerne wiederum eine Chromatinverminderung durch, indem sie Teile ihres Chromatins in den Dotter abstoßen, die vierte dagegen teilt sich normal, aber erst dann, nachdem sie in eine am hinteren Pol des Eies gelegene Ansammlung körnigen Protoplasmas eingetreten ist (Fig. 29b), welch letztere Sonderbildung schon am ungefurchten Ei zu beobachten ist (Fig. 29a). Von den Teilprodukten der eben erwähnten Zelle kehrt der eine Tochterkern in den Dotter zurück, der andere bleibt in dem körnigen Protoplasma liegen; letzteres rundet sich nun ab, umgibt sich mit einer Membran und schnürt sich vollständig vom Dotter ab (Fig. 29c). Es hat sich auf diese Weise die Bildung der Urgeschlechtszelle vollzogen, die sich als solche zunächst nicht weiter teilt. Die übrigen sieben Kerne stellen ihr gegenüber die Ursomazellen dar, sie erleiden bei ihrer folgenden Teilung nochmals sämtlich eine Chromatinverminderung. Gleichzeitig mit diesem letzteren Prozeß ist aber noch eine andere Erscheinung verbunden. Die bisherige Chromosomenzahl (wahrscheinlich 22) wird nämlich in sämtlichen Ursomazellen durch paarweises Zusammenlegen der Chromosome auf die Hälfte reduziert, und diese reduzierte Zahl behalten alle Somakerne bis in die Nerven-, Muskel- und Drüsenzellen hinein bei. Die Urgeschlechtszelle dagegen bewahrt sich neben der vollen Chromatinmasse auch die ursprüngliche Chromosomenzahl, sie teilt sich späterhin in 2, 4, 8 Zellen, die dann ihrerseits unter Verlagerung ins Innere die Geschlechtsdrüsen liefern.

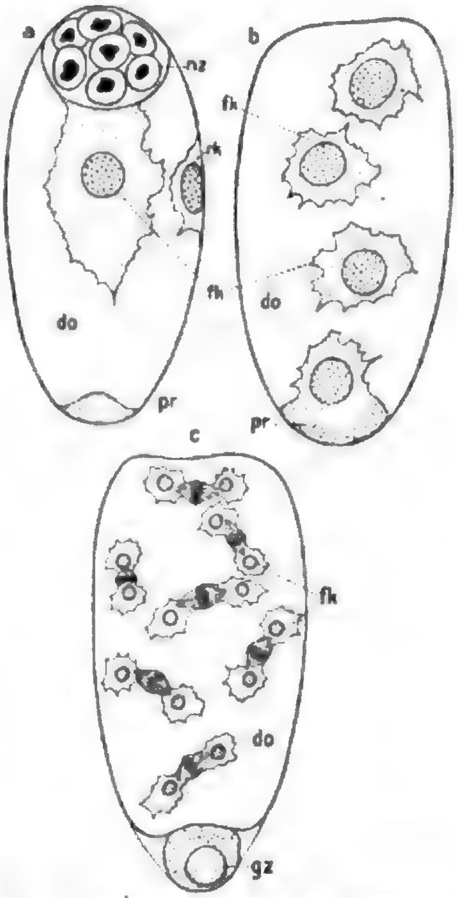


Fig. 29. Drei Stadien aus der Differenzierung der Urgeschlechtszelle von Miastor metroloas. Nach W. Kahle, Zoologica, Heft 55, 1908, Taf. III Fig. 8, 12, Taf. IV Fig. 15. do Dotter, fk Furchungskerne, gz Urgeschlechtszelle (= Polzelle), nz Nährzellen, pr körnige Protoplasmaanhäufung am Hinterende des Eies, rk Richtungskörperchen.

Auch bei einzelnen Krebsen sind bereits auf frühen Furchungsstadien die Urgeschlechtszellen nachweisbar. Bei Cyclops läßt sich ihre Differenzierung während des Furchungsprozesses daran verfolgen, daß die Elemente ihrer aufeinander folgenden Generationen sich durch Einlagerung eigenartiger rundlicher Körnchen, sogenannter Außenkörnchen, auszeichnen. Dieselben bleiben schließlich nur einer einzigen Zelle, eben der Urgeschlechtszelle erhalten.

Bei einer anderen Gruppe von Tierformen lassen sich die Urgeschlechtszellen zwar nicht direkt auf einzelne Furchungselemente zurückführen, sie treten aber immerhin als geschlossene Anlage schon so frühzeitig auf, daß ihre Selbständigkeit gegenüber den übrigen Primitivanlagen sich ganz unzweideutig ergibt. So beim Skorpion, wo schon auf dem Stadium der einschichtigen Keimscheibe die Keimzellen als eine kleine scharf abgesonderte Gruppe heller

Digitized by Google

Zellen hervortreten (Fig. 14a), später in die Tiefe sinken, sich nach hinten verschieben und nun erst unter Ausbildung der eigentlichen Geschlechtsdrüsen in Beziehung zu Mesoderm und Cölom treten, mit denen sie ihrer Genese nach nicht das mindeste zu tun haben. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei manchen Insekten. Bei den Orthopteren sondern sich die Keimzellen als geschlossene einheitliche Anlage unmittelbar aus dem Blastoderm, verlagern sich nach innen und wandern schließlich in eine von den Cölomwandungen gebildete sogenannte Geschlechtsleiste ein, mit welcher zusammen sie dann die Geschlechtsdrüse zur Ausbildung bringen. Trotz dieses späteren engen Zusammenhangs mit mesodermalen Elementen haben aber auch hier die eigentlichen Urgeschlechtszellen mit jenen ursprünglich nichts zu tun.

Auf eine unmittelbare selbständige Anlage sind weiter auch die Geschlechtsdrüsen der Sagitta zurückzuführen. Sie treten erkennbar zuerst in die Erscheinung am oberen Pol des eingestülpten inneren Blattes als zwei besonders ausgezeichnete Zellen (Fig. 18a). Diese teilen sich in vier, treten aus ihrem ursprünglichen Verbande aus (Fig. 18b), kommen späterhin in die Urdarmdivertikel zu liegen und lassen schließlich aus sich unter mannigfachen Umlagerungen die Geschlechtsdrüsen hervorgehen.

Sehr viel weniger scharf geschieden tritt die Anlage der Geschlechtszellen bei Ringelwürmern und Mollusken hervor. Bei ersteren entstehen sie aus lebhaften Zellwucherungen, die von dem cölomatischen Peritonealepithel ihren Ausgang nehmen, bei letzteren in engstem Zusammenhang mit dem Pericard oder dessen Anlage.

Und endlich ist auch bei den Wirbeltieren als Regel ein enger Zusammenhang zwischen Cölom und Geschlechtszellen festgestellt, insofern letztere gewöhnlich zuerst zwischen den normalen Cölomzellen als größere helle Elemente sich bemerkbar machen. Daß aber diese Feststellung auch hier vielleicht nicht den wirklichen Verhältnissen entspricht, darauf deuten die Beobachtungen hin, welche bei Haifischen und Knochenfischen die Genitalzellen schon auf älteren Furchungsstadien als wohl gesonderte Anlage präzisieren konnten. Auch hier wäre also eine selbständige Anlage der Urgeschlechtszellen gegenüber den Elementen des Cöloms anzunehmen.

3. Zweite Entwickelungsperiode: Gestaltsbildung. Nach Ablauf der geschilderten inneren Entwickelungsvorgänge treten am Aeußeren des Keimes Veränderungen auf, welche dazu dienen, die bisher im wesentlichen beibehaltene Eiform in die spätere definitive Gestalt des erwachsenen Organismus überzuführen. Diese Ueberführung erfolgt entweder direkt durch fortschreitende ununterbrochene Differenzierung, die in ihrem Verlaufe von den jeweiligen besonderen Gestaltsverhältnissen des zur Ausbildung zu bringenden Organismus beeinflußt und bestimmt wird, oder aber sie geht auf einem Umwege vor sich über ein Larvenstadium, welches nach Organisation und Lebensweise von dem späteren geschlechtsreifen Individuum grundverschieden sein kann und durch eine häufig sehr eingreifende Umgestaltung seiner äußeren und inneren Verhältnisse, durch eine Metamorphose erst in jenes sich verwandelt. Der letztere Entwickelungsmodus ist der weitaus häufigere im Tierreiche und zweifellos der ursprünglichere, weshalb wir ihn zuerst betrachten wollen.

3a) Gestaltsbildung in Verbindung mit Larvenstadium und Metamorphose. *α*) Schwärmlarven der Coelenteraten und Schwämme. Unter den vielgestaltigen Larvenformen ist der Typus der allseitig bewimperten Schwärmlarve sicherlich der ursprünglichste. In ihrer reinsten und primitivsten Form begegnen wir ihr in der Planulalarve der Coelenteraten. Dieselbe besitzt eine langgestreckte Gestalt (Fig. 30a) und weist insofern eine überaus einfache Organisatoin auf, als sie nur aus zwei Körperschichten besteht, aus einem äußeren Flimmerepithel, welches die Oberfläche der Larve völlig überzieht, und aus einer inneren körnigen Schicht, welche einen langgestreckten Hohlraum, die Gastralhöhle, einschließt und mithin das Entoderm repräsentiert. Diese Larve schwärmt längere oder kürzere Zeit frei im Meerwasser umher, bis sie ihr Wimperkleid abwirft und sich mit dem Pole, der bei der Schwimmbewegung nach vorn gerichtet war, an einer Unterlage festheftet. Sodann wandelt sie sich zunächst in einen einfachen schlauchförmigen Polypen um, an dessen freiem Ende nach Durchbruch eines Mundes die Gastralhöhle in offene Kommunikation mit der Außenwelt tritt, und liefert endlich unter mannigfachen Komplikationen und unter Einschaltung eines Generationswechsels die vielgestaltigen Erscheinungen des Coelenteratentypus.

Sehr viel stärker modifiziert erscheinen gegenüber den Planulalarven der Coelenteraten die Schwärmlarven der Schwämme. In ihrer einfachsten Form, wie sie etwa ein Kalkschwamm darbietet, besitzt eine solche Larve (Fig. 30b) einen länglich ovalen Körper, der an seinem Vorderende langgestreckte Geißelzellen, an seinem Hinterende dagegen unregelmäßiger angeordnete körnige und geißellose Zellen trägt. Im Inneren umschließen die beiden Zellformen eine kleine Höhlung, den Rest

der Furchungshöhle. Bei der Metamorphose wird nun die geißeltragende Schicht eingestülpt und von den körnigen Zellen schließlich völlig umwachsen, worauf nach erfolgter Festhaftung der Larve die letzteren

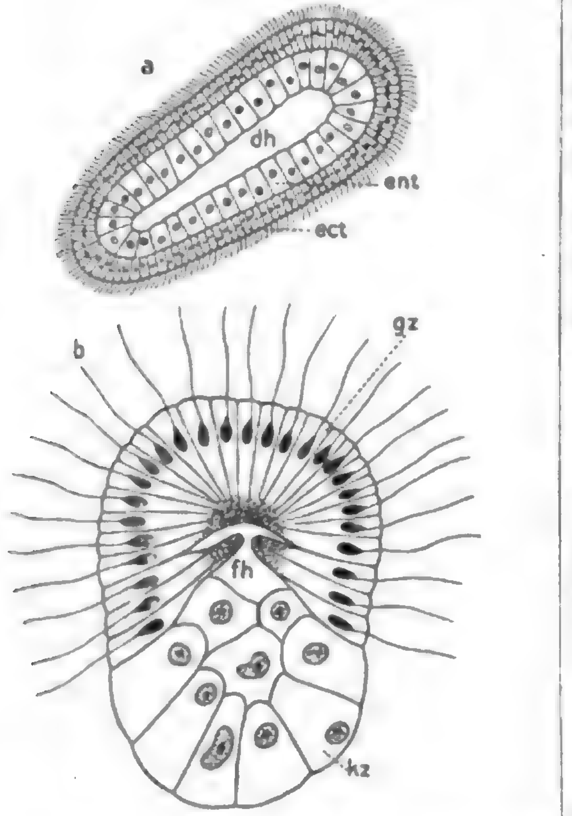


Fig. 30. a Schwärmlarve eines Hydroidpolypen. Schematisiert. Nach J. Wulfert, Zeitschr. wiss. Zool. Bd. 71 1902. b Schwärmlarve eines Kalkschwammes (Sycon raphanus). Nach E. Hammer, Arch. für Biontologie 2. Bd. 1908, Taf. 25 Fig. 40. dh Urdarmhöhle, ect Ectoderm, ent Entoderm, fh Furchungshöhle, gz Geißelzellen, kz Körnchenzellen.

körnigen Zellen das äußere Körperepithel liefern, während die Geißelzellen zu den inneren Kragenzellen werden und als solche innere Hohlräume, die späteren Geißelkammern, umschließen. Bei zahlreichen anderen Schwämmen nimmt die Geißelzellenschicht an dem Larvenkörper einen sehr viel größeren Raum ein, sie dehnt sich nahezu ganz oder völlig über die äußere Oberfläche aus und schließt dementsprechend die körnige Schicht mehr oder weniger vollständig ein. Da aber bei der Metamorphose in der gleichen Weise wie bei den Kalkschwämmen die Geißelzellen zum Aufbau der Geißelkammern nach innen verlagert werden, so muß man dann hier von einer förmlichen Umkehr der Schichten reden, durch welche eben die ursprünglich äußeren Geißelzellen nach innen, die inneren Körnchenzellen wenigstens zum Teil zur Bildung der äußeren Körperwand nach außen zu liegen kommen.

β) Schwärmlarven der Würmer und Mollusken. Die einfache Form der allseitig bewimperten Schwärmlarve ist hier nur noch bei den parasitisch lebenden Trematoden (Saugwürmern) und Cestoden (Bandwürmern) anzutreffen, so daß die Annahme nicht unbegründet sein mag, daß wir es hier eher mit sekundär vereinfachten Larvenformen zu tun haben. Als erste Form wäre das Miracidium der Saugwürmer anzuführen (Fig. 31), eine Schwärmlarve von länglicher, birnförmiger Gestalt, die zu äußerst von einem dichten Flimmerkleid besetzt ist, im Inneren einen x-förmigen Augenfleck, ein nervöses Ganglienzentrum, einen kurzen Darmkanal, ein einfaches Ex-

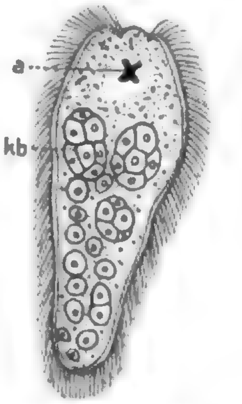


Fig. 31. Miracidiumlarve des Leberegels. Nach Leuckart aus M. Braun, Die tierischen Parasiten des Menschen 1903, Fig. 86 A. a x-förmiger Augenfleck, kb Haufen von Keimzellen.

kretionssystem, sowie Haufen von Keimzellen besitzt, also schon viel höher organisiert ist als die Schwärmlarve der Coelenteraten. Das Miracidium wandelt sich nicht direkt in den geschlechtsreifen Wurm um, sondern es gibt zunächst einer Anzahl von Zwischengenerationen den Ursprung, die man als Keimschläuche (Sporocysten, Redien) sowie als Cercarien (eine zweite, geschwänzte Larvenform) bezeichnet und die ein Schmarotzerleben in anderen Tieren führen. Die Cercarien kommen in ihrem inneren Bau der Organisation eines Plattwurmes schon recht nahe, aus ihnen geht schließlich die definitive geschlechtsreife Wurmform hervor. Bei den Bandwürmern sind diese Schwärmlarven noch sehr viel stärker modifiziert, sie können sogar ihre Flimmerhülle völlig einbüßen, wie beispielsweise die Oncosphaera, der sechshakige Embryo von Taenia. Auch hier wird bei der Metamorphose noch ein Zwischenstadium, die Finne, eingeschaltet, ein blasenförmiges Gebilde, welches durch Knospung an seiner inneren Wand den Bandwurmkopf entstehen läßt.

Eine Weiterbildung ursprünglicher Schwärmlarven in progressivem Sinne bieten uns die Larven der marinen Strudelwürmer, die Müllerschen Larven der Polycladen. Diese Larve (Fig. 32a) besitzt einen länglich

Digitized by Google

walzenförmigen Körper, der an Vorder- wie Hinterende ein Büschel langer Sinneshaare trägt und in seinem mittleren Bezirk von einer Anzahl charakteristischer lappenartiger Anhänge besetzt erscheint, die ihrerseits wieder von Wimperstreifen umsäumt sind und alle miteinander in Zusammenhang stehen. Zwischen den ventralen Lappen liegt die Mundöffnung. Die Metamorphose erfolgt in sehr einfacher Weise durch starke Streckung und dorsoventrale Abplattung des Larvenkörpers, durch Differenzierung der inneren Organe und Verlust der Flimmerlappen. Die mit besonders hervortretenden Mundlappen ausgezeichnete Larve von Stylochus pflegt man wohl auch als Goettesche Larve zu bezeichnen.

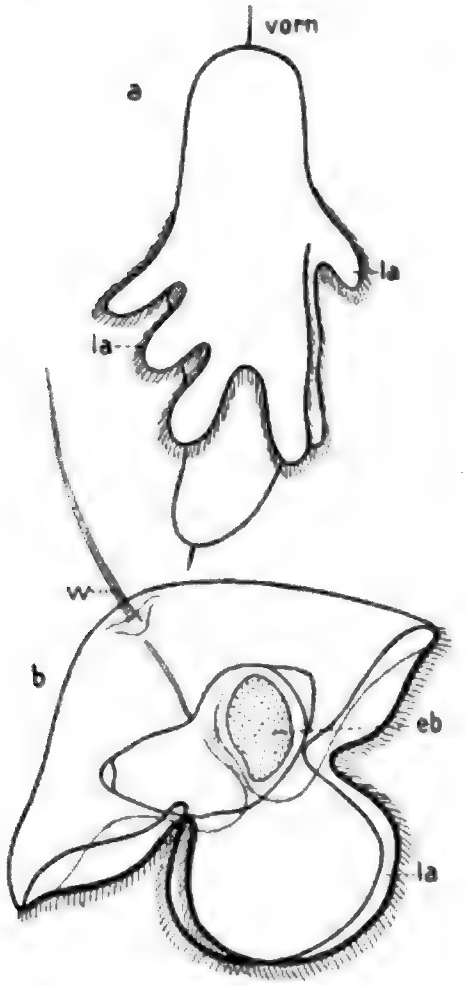


Fig. 32. a Müllersche Larve von Yungia aurantiaca. Nach A. Lang, Die Polycladen, Fauna und Flora v. Neapel, XI. Monogr. 1884, Taf. 39 Fig. 7. b Pilidiumlarve eines Nemertinen. Nach O. Bürger, Nemertinen, Fauna und Flora v. Neapel, XXII. Monogr., 1895, Taf. 30 Fig. 7. la lappenförmige Larvenanhänge, eb Embryonalanlage, w Wimperschopf.

Etwas andersartig stellt sich die Pilidiumlarve der Nemertinen dar. Ihre Form (Fig. 32b) gleicht etwa der einer seitlich komprimierten Glocke, von deren Seitenrändern zwei rundliche Lappen herabhängen. Die ganze Larve ist zart bewimpert, dagegen sind die Ränder der Glocke sowie die Seitenlappen von starken Wimperschnüren umzogen. Am Scheitel der Glocke ragt aus einer grübchenartigen, mit verdicktem Epithel ausgestatteten Vertiefung ein Schopf langer Cilien hervor, es entsteht so hier eine Scheitelplatte, ein primitives Sinnesorgan. Auf der Unterseite der Glocke liegt die Mundöffnung, welche in einen afterlosen Magendarm führt. Das Innere der Glocke ist von einer durchsichtigen Gallertmasse erfüllt, sowie von Mesenchym- und Muskelzellen durchzogen. Die Metamorphose verläuft in einer sehr komplizierten Weise, indem am Larvenkörper sich Neuanlagen in Form von taschenförmigen Einstülpungen ausbilden, die den Darm umwachsen und unter gegenseitiger Vereinigung den späteren Wurmkörper ausschließlich aus sich hervorgehen lassen. Der Larvenkörper wird dagegen abgestoßen.

In ihrem Bau weist die Pilidiumlarve zweifellos nahe Beziehungen zur Müllerschen Larve auf, zugleich nimmt sie aber gegenüber dieser Larve eine höhere Stufe ein, wie sie namentlich im Auftreten eines besonders differenzierten Sinnesorganes, der Scheitelplatte, sich kenntlich macht. Und gerade dieses letztere Merkmal leitet dann zu einer höheren Larvenform über, zur Trochophoralarve der Anneliden oder Ringelwürmer. Am besten bekannt ist wohl die Larve von Polygordius (Fig. 33). Der Körper stellt eine dünnwandige Hohlkugel dar, die auf ihrer äußeren Oberfläche von zwei ringförmigen Wimperkränzen umzogen wird. Der umfangreichere derselben, der Prototroch, verläuft äquatorial oberhalb der Mundöffnung, der zweite liegt postoral unterhalb der Mundöffnung. Am Scheitelpol begegnen wir ferner wiederum einer Scheitelplatte, die nunmehr bereits einen komplizierteren Bau zeigt und Sinneszellen, Augenflecke, Ganglienzellen, sowie einen Wimperschopf aufweist. Ein ähnliches, nur einfacher gebautes Sinnesorgan liegt vor dem After am hinteren Pol, das präanale Wimperorgan. Die innere Organisation weist ein aus Mund, Speiseröhre, Magen und Enddarm bestehendes Darmsystem auf, es treten Nerven und Muskeln auf, es sind Exkretionsorgane in Form einfach gebauter, röhrenförmiger oder verzweigter Urnieren von protonephridialem Bau vorhanden. Die Metamorphose verläuft sehr kompliziert, insofern auch hier, ähnlich wie bei den Nemertinen, der größte Teil des Larvenkörpers abgestoßen wird und der spätere Wurmkörper aus Neubildungen sich aufbaut. Uebernommen wird von der Larve eigentlich nur die Umgebung der Scheitelplatte mit Gehirn und Sinnesorganen, der gegliederte Wurmkörper geht dagegen

Digitized by Google

aus Neuanlagen hervor, die sich auf mesodermaler Grundlage im hinteren Bereich des Larvenkörpers zu beiden Seiten des Enddarms anlegen (Fig. 33, an).

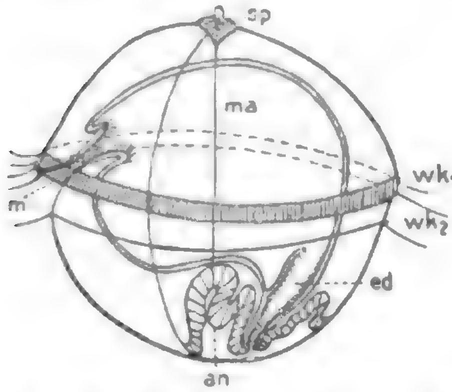


Fig. 33. Trochophoralarve von Polygordius in Seitenansicht. Nach R. Woltereck, Zoologica 13. Bd. 1902, Fig. 1. an Anlage des Wurmkörpers, ed Enddarm, m Mund, ma Magen, sp Scheitelplatte, $wk_{1,2}$ die beiden Wimperkränze.

Im einzelnen kann die Trochophoralarve sehr stark modifiziert erscheinen. Ihr Aeußeres kann zunächst durch sekundäre Bildungen, durch Anhänge in Form tentakelartiger Ausstülpungen des Körpers, durch Borstenbildungen kompliziert werden, wie es beispielsweise bei dem Typus der Mitrarialarve der Fall ist. Dieselbe stellt eine Trochophoralarve mit stark entwickelter Glocke und reduziertem postoralen Abschnitt dar, doch trägt letzterer auf zwei umfangreichen Höckern lange Borsten. Noch häufiger sind Rückbildungen der ursprünglichen Larvenform. Die Wimperkränze können einem einfachen gleichmäßigen Wimperkleide Platz machen, sie können durch einen oder mehrere zirkuläre Wimperkränze sekundären Ursprungs ersetzt werden und dann tritt vielfach schon frühzeitig eine Segmentierung auf, an die sich unmittelbar die weitere Gliederung des Wurmkörpers ohne eingreifende Metamorphose anschließt.

Eine typische Trochophoralarve kommt also zunächst den marinen Ringelwürmern zu, sie findet sich ferner in fast identischer Ausbildung bei den Echiuriden, wo sie eine mehr langgestreckte Gestalt aufweist, im übrigen aber Scheitelplatte, prä- und postoralen Wimperkranz als charakteristische Larvenorgane besitzt. Es tritt auch noch eine innere und äußere Segmentierung am hinteren Körperabschnitt auf, doch geht dieselbe später wieder verloren und ist am ausgebildeten Wurmkörper, der aus einer einfachen Längsstreckung des Larvenkörpers hervorgeht, nicht mehr nachweisbar. Stärker modifiziert erscheint die Larvenform der Sipunculiden, doch ist auch sie noch durchaus auf die Trochophoralarve zu beziehen.

Zum zweiten Male begegnen wir der typischen Trochophoralarve in einer ganz anderen Tierklasse, bei den Mollusken, deren enge Beziehung zu den Würmern gerade durch diese gemeinsame Larvenform aufs klarste dargetan wird. Was die Molluskentrochophora von der Annelidentrochophora unterscheidet, das ist nur, daß, wie hier Merkmale der Annelidenorganisation, so dort solche der Molluskenorganisation sich schon frühzeitig der ursprünglichen Larvenorganisation beimischen. Am ehesten läßt sich dies an einem Beispiel, etwa der Trochophora einer Muschel, demonstrieren (Fig. 34). Der Körper der Larve ist seitlich komprimiert und von zwei Schalenklappen umschlossen, über deren Rand nur der von einem mächtigen präoralen Wimperkranz umzogene vordere Körperabschnitt hervorragt. Dieser letztere ist seitlich in zwei mächtige Lappen ausgezogen und bildet auf diese Weise das sogenannte Velum, welches als wichtiges Fortbewegungsorgan der Larve dient. In

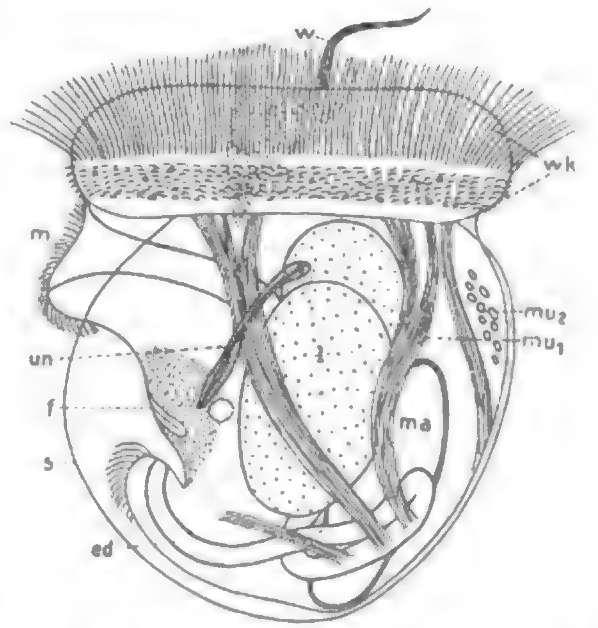


Fig. 34. Trochophoralarve von Dreissensia in Seitenansicht. Nach J. Meisenheimer, Zeitschr. wiss. Zool. 69. Bd. 1900, Taf. V Fig. 54. ed Enddarm, f Fußanlage, l Leberanlage, m Mund, ma Magen, mu_1 Retraktormuskel des Velums, mu_2 Schließmuskel der Schale, s Schale, un Urniere, w Wimperschopf der Scheitelplatte, wk die Wimperkränze des Velums.

der Mitte seines Scheitels trägt das Velum wiederum eine Scheitelplatte, auf der ein Büschel langer Cilien sich erhebt. Der postorale Wimperkranz ist dagegen auf ein einfaches Wimperbüschel am unteren Mundrande reduziert. Von inneren Organen ist ein wohlausgebildeter Darmtraktus mit Mund, After, Magen, Darm, Lebersäckchen vor-

Digitized by Google

handen; Retraktormuskeln besorgen das Zurückziehen des Körpers in die Schale, quergestellte Schließmuskeln das Schließen der Schalenklappen; als Exkretionsorgan fungiert ein Paar einfacher röhrenförmiger Urnieren von protonephridialem Bau. Die Metamorphose geht unter Rückbildung von Urniere und Velum vor sich, während gleichzeitig am Larvenkörper die Organe der späteren Muschel, wie Fuß, Kiemen usw., sich anzulegen beginnen.

Trochophoralarven treten ferner noch bei einer ganzen Anzahl anderer primitiver Molluskengruppen auf, so bei den Chitonen, bei den Amphineuren, bei Patella unter den Prosobranchiern. Wie bei den Muscheln, so läßt auch hier die Larve neben den gleichbleibenden Larvenbestandteilen stets bereits in irgendeiner Weise die Organisation des definitiven Tieres gleichsam durchblicken. So bei den Chitonen in der frühzeitigen Vorwölbung des Fußes und dem frühzeitigen Auftreten der dorsalen Schalenplatten, bei Patella in der Ausbildung einer unpaaren Schale, der Anlage einer Radulatasche, usf.

Die ursprüngliche Larvenform erleidet dann aber auch hier bei den Mollusken mannigfache Komplikationen. So tritt bei einigen Muscheln, und zwar merkwürdigerweise gerade bei den ursprünglichsten, bei den Nuculiden, eine stark abweichende tonnenförmige Larve auf, deren Körper von mehreren Wimperkränzen umzogen ist und am Scheitel einen sehr langen Wimperschopf trägt. Das eigenartigste ist aber, daß die äußere Epithelumkleidung der Larve bei der Metamorphose vollständig abgeworfen wird und darunter erst die junge Muschel zur Anlage kommt.

Eine sehr wichtige und weitverbreitete Modifikation der Molluskentrochophora ist dann ferner die Veligerlarve der Prosobranchier und Opisthobranchier, so genannt nach der mächtigen Entwickelung, welche bei ihr das Velum genommen hat (Fig. 35). Dasselbe hat sich hier in zwei, vier und selbst sechs lange Lappen ausgezogen, die von Wimperkränzen umgeben sind und so ein sehr leistungsfähiges Lokomotionsorgan darstellen. Die übrige Organisation gleicht dagegen im wesentlichen schon der einer jungen Schnecke; gewundene Schale, Fuß, Tentakel sind häufig bereits schon am Larvenkörper ausgebildet. Die Metamorphose vollzieht sich demgemäß ohne tief eingreifende Umwälzungen, die Larve geht unter Rückbildung des Velums unmittelbar in das definitive Tier über.

Sehr viel bedeutender sind die Rückbildungen der ursprünglichen Larvenform bei den Lungenschnecken, weniger stark bei den Süßwasserschnecken, wo das Velum wenigstens noch in Rudimenten nachweisbar ist, sehr stark dagegen bei den Landschnecken, bei deren Larven das Velum

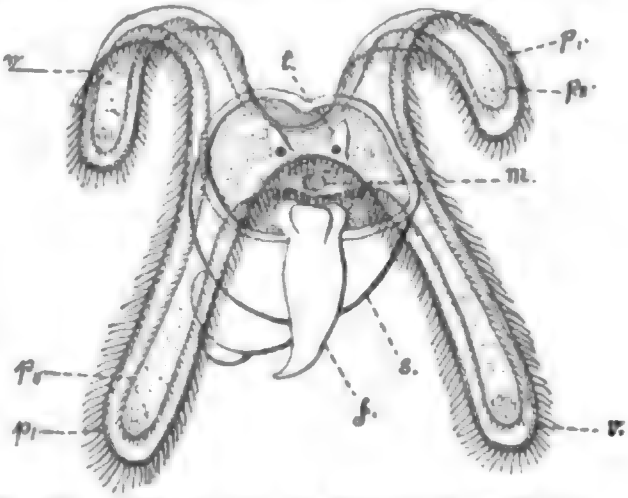


Fig. 35. Veligerlarve mit vierlappigem Velum. Aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der Tiere. Spez. Teil 1893, Fig. 594. f Fuß, p_1 und p_2 die Wimperkränze des Velums, s Schale, t Fühler, v Velum.

völlig geschwunden ist und besondere blasenförmige Auftreibungen des Körpers das Aussehen der Larve von Grund aus umgestalten. So ist bei ihnen zunächst der Kopfabschnitt zu der Kopfblase erweitert, welche ein larvales Respirationsorgan darstellt, es trägt ferner der Fuß einen ähnlichen blasigen Anhang, die Fußblase oder Podocyste, die mit ihren pulsierenden Bewegungen ein larvales Zirkulationsorgan darstellt. Neben diesen Larvenorganen, die bei der Metamorphose völlig rückgebildet werden, tritt endlich noch ein larvales Exkretionssystem auf, und zwar sowohl bei Süßwasser- wie bei Landpulmonaten. Dasselbe ist wohl etwas komplizierter gebaut als bei den eigentlichen Trochophoralarven, zeigt aber im übrigen die gleiche protonephridiale Struktur.

Ganz und gar abweichend und kaum noch auf die Trochophoralarve zu beziehen sind dann die sogenannten Glochidienlarven der Unioniden. Eine solche Larve (Fig. 36) wird von zwei dreieckigen Schalenklappen umschlossen, die an ihrer Basis durch ein bewegliches Schloß verbunden sind, an ihren freien Enden dagegen spitze, mit Stacheln besetzte Haken tragen. Ein Schließmuskel besorgt das Schließen der beiden Schalenhälften, deren Innenfläche im übrigen von einem mit Sinneshaaren ausgestatteten Mantel bekleidet wird. Charakteristisch für die Organisation vieler Glochidienlarven ist endlich noch ein langer Larvenfaden, der aus der Schalenöffnung frei heraushängt. Die Schalenhaken dienen der Larve zum Festheften an die Haut von Fischen, nachdem sie die Kiemen der Mutter,

Digitized by Google

wo sich ihre erste Entwickelung abspielt, verlassen hat. In der Fischhaut bildet sie um sich eine Cyste und führt alsdann längere Zeit ein parasitäres Leben, bis die junge Muschel ihre volle Ausbildung erreicht hat.

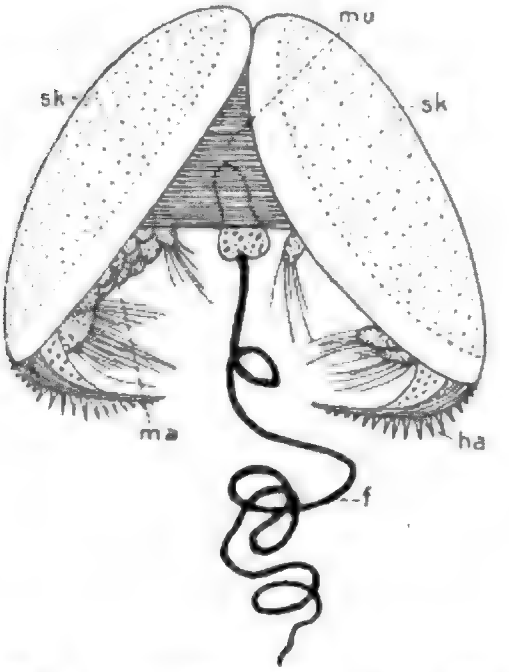


Fig. 36. Glochidiumlarve von Anodonta in Seitenansicht. Nach Fr. Lillie, Journal of Morph. Vol. X 1895, Taf. VI Fig. 92. f Larvenfaden, ha Schalenhaken, ma Larvenmantel, mu Schließmuskel, sk Schalenklappen.

Auch einige stärker abweichende Larvenformen gehören sehr wahrscheinlich in den Kreis der Trochophoralarven. So vor allem die sogenannte Actinotrocha der Phoroniden. Eine solche Actinotrocha (Fig. 37) setzt sich aus drei Körperabschnitten zusammen: einmal aus einem Präorallappen, der glockenartig dem übrigen Körper aufsitzt, vorn die Mundöffnung und an seinem Scheitel eine Scheitelplatte trägt; weiter aus einem postoralen Abschnitt, der einen von einem postoralen Wimperstreifen umsäumten Tentakelkranz aufweist; und endlich aus einem analen Abschnitt, der vom zweiten schürzenförmig überdeckt wird und auf seiner von einem zirkumanalen Wimperreifen umzogenen Endfläche die Afteröffnung trägt. Feine Wimpern bedecken im übrigen den ganzen Körper. Als ein für die Beurteilung ihrer Zugehörigkeit sehr ins Gewicht fallendes Organ besitzt die Actinotrocha eine typisch protonephridiale Larvenniere. Höchst eigenartig verläuft die Metamorphose, insofern auf der Ventralseite der Larve sich eine Ausstülpung bildet, die zu einem langen Schlauche auswächst, den Darmkanal in sich hineinzieht und schließlich den größten Teil des Tieres liefert, während der Larvenkörper zusammenschrumpft und resorbiert wird.

Weiter wären dann in diesem Zusammenhang noch die Larven der Bryozoen und Brachiopoden anzuführen. Dieselben erscheinen außerordentlich stark modifiziert durch zahlreiche sekundäre Anpassungen und lassen zum Teil, wie besonders einzelne Bryozoenlarven, wohl Beziehungen zur Actinotrocha erkennen, sind aber meist in Zusammenhang mit der definitiven Tierform von Grund aus abgeändert.

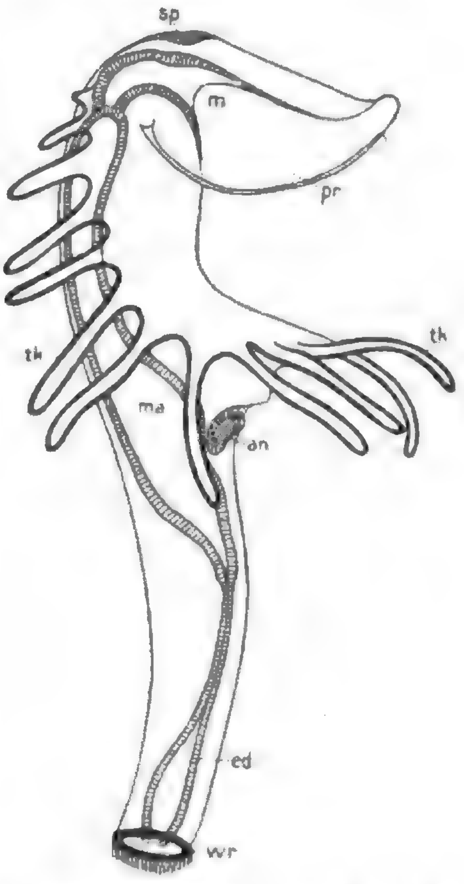


Fig. 37. Actinotrochalarve. Nach M. de Selys-Longchamps, Phoronis, Fauna u. Flora Neapel, XXX. Monogr. 1907, Taf. 11 Fig. 27. an Anlage des späteren Körpers des Tieres, ed Enddarm, m Mund, ma Magen, pr präoraler Lappen, sp Scheitelplatte, tk Tentakelkranz, wr Wimperreifen.

γ) Schwärmlarven der Echinodermen. Ein gänzlich anderer Larventypus tritt uns bei den Echinodermen entgegen, seine Ableitung von anderen Formen ist ebenso dunkel und unklar wie der Ursprung und das verwandtschaftliche Verhältnis der ganzen Tierklasse überhaupt. Dagegen ist der Zusammenhang aller Larvenformen der Echinodermen untereinander ein sehr inniger, und ihre Ableitung von einer einzigen Grundform ohne große Schwierigkeiten durchführbar. Es besitzt diese Grundform (Fig. 38) eine bilateral symmetrische birnförmige Gestalt mit abgeplatteter Bauch- und Rückenfläche. Auf der Bauchseite liegt,

Digitized by Google

dem vorderen Pol genähert, eine Einsenkung, das Mundfeld, welches die Mundöffnung enthält und von einem Wimperstreifen umsäumt ist, der seinerseits in zwei Seitenteile, in einen vorderen und einen hinteren Quersaum zerfällt. Vor dem Mundfeld liegt das

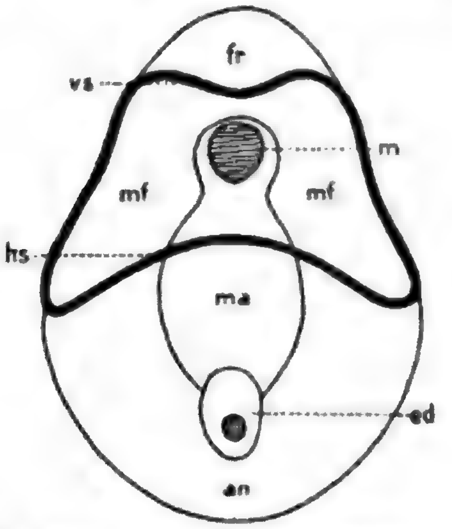


Fig. 38. Grundform der Echinodermenlarven von der Ventralseite. an Analfeld, ed Enddarm, fr Frontalfeld, hs hinterer Quersaum, m Mund, ma Magen, mf Mundfeld, vs vorderer Quersaum.

Frontalfeld, dahinter das Analfeld. Im Innern ist ein primitiver Darmtraktus mit Mund, Magen, Enddarm, After vorhanden, weiter liegen im Innern die Vasoperitonealblasen, d. h. also die Anlagen des Wassergefäßsystems und der Leibeshöhle.

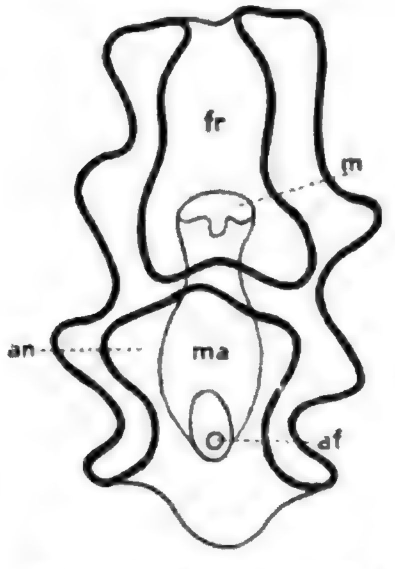


Fig. 39. Auricularia-Larve einer Holothurie von der Ventralseite. Nach J. Müller aus Mortensen, Ergebn. Plankton-Exped. Bd. II 1898, Fig. 1. af After, an Analfeld, fr Frontalfeld, m Mund, ma Magen.

Es sind nun im wesentlichen Umbildungen des Mundfeldes und Differenzierungen der Wimperschnüre, welche aus dieser Grundform die Vielgestaltigkeit der Echinodermenlarven hervorgehen lassen. Dehnen sich die Seitenteile des vertieften und von den Wimperschnüren umsäumten Mundfeldes nach vorn und hinten zu Zipfeln aus, welche die erhöhten Flächen von Frontal- und Analfeld zwischen sich fassen, so entsteht die Auricularialarve (Fig. 39) der Seewalzen oder Holothurien. Aus einer unmittelbaren Weiterbildung dieser Larve geht die Bipinnaria (Fig. 40) der Seesterne hervor, indem die vorderen Zipfel des Mundfeldes so weit nach dem vorderem Pol vorwachsen, daß sie in dessen Mittellinie von beiden Seiten her zusammenstoßen und so das Frontalfeld völlig absondern. Es sind nun an Stelle des

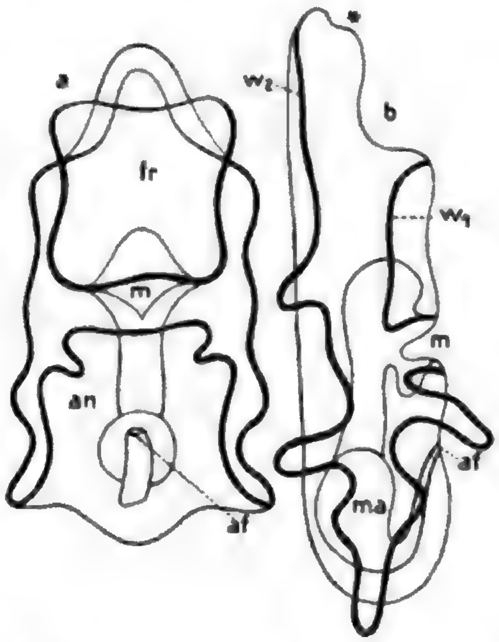


Fig. 40. Bipinnaria-Larve eines Seesterns (Asteracanthion pallidus). a jüngere Larve von der Ventralfläche, b ältere Larve in Seitenansicht. Nach A. Agassiz, Memoirs Mus. Comp. Zool. Harvard Coll. Vol. V 1877, Taf. III Fig. 6 und 9. af After, an Analfeld, fr Frontalfeld, m Mund, ma Magen, $w_{1,2}$ die beiden getrennten Wimperschnüre.

einen kontinuierlichen Wimpersaumes zwei getrennte Wimperschnüre vorhanden, von ihnen umsäumt die eine allein das Frontalfeld, die zweite Analfeld und die Seitenteile des Mundfeldes. Eine sehr starke Lappenbildung der Wimperschnüre zeichnet die älteren Stadien der Bipinnaria im besonderen aus, dazu kommen ferner noch Umbildungen, welche die Bipinnaria in ein weiteres Folgestadium, in die Brachiolaria, überführen. Diese Umbildungen bestehen darin, daß an dem vorderen dorsalen Zipfel des Larvenkörpers sich mehrere armartige Fortsätze ausbilden, an denen die Wimperschnur zurückgebildet wird und an deren Enden

Digitized by Google

warzenförmige Höcker auftreten, die wahrscheinlich zum Festheften der Larve bei beginnender Metamorphose dienen.

Wieder ein anderer Typus dieser Larven wird dadurch geschaffen, daß das Mundfeld sich vorzugsweise in querer Richtung ausdehnt und an seinen Rändern lange, gerade gestreckte Fortsätze, sogenannte Arme, entwickelt, die alle von der gleichen kontinuierlichen Wimperschnur umzogen werden. Es können diese Arme eine sehr beträchtliche Länge erreichen, sie sind zudem gestützt durch ein besonderes Kalkskelett, welches in Form von Stäben Larvenkörper und Arme durchzieht. Man pflegt diese Larvenform als **Pluteuslarve** (Fig. 41) zu be-

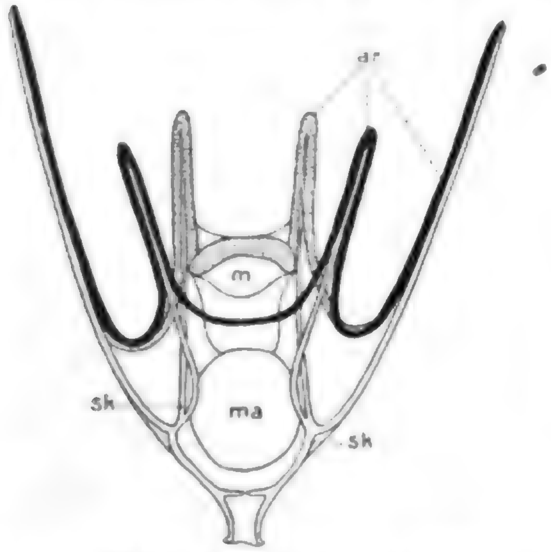


Fig. 41. Pluteus-Larve eines Schlangensterns. Nach Mortensen, Ergebnisse der Plankton-Expedition Bd. II 1898, Taf. IV Fig. 9. ar Pluteusarme, m Mund, ma Magen, sk Stäbe des Kalkskeletts.

zeichnen, sie tritt in zwei verschiedenen Ordnungen der Echinodermen selbständig auf, bei den Seeigeln (Echiniden) und bei den Schlangensternen (Ophiuriden). Beide Larvenformen weichen trotz ihrer äußeren Aehnlichkeit in ihrem inneren Bau sehr beträchtlich voneinander ab, weshalb man sie jetzt gewöhnlich als Echinopluteus und Ophiopluteus voneinander scheidet.

Nicht auf die geschilderte Grundform zurückzuführen ist allein die Larve der Seelilien (Crinoiden). Ihr Körper ist walzenförmig gestaltet (Fig. 42), rings von fünf Wimperreifen umzogen, an seinem Vorderende mit einem langen Wimperschopf und auf der Bauchseite mit einigen grübchenförmigen Larvenorganen versehen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß diese einfache Larvenform sekundär aus einer komplizierteren hervorgegangen ist, da bei der Metamorphose der Holothurien vorübergehende Zwischenstadien auftreten, die der Crinoidenlarve in vielem gleichen.

Außerordentlich tief eingreifend ist die Metamorphose, welche die geschilderten Larvenformen in die ausgebildeten geschlechtsreifen Tiere überführt. Am wenigsten kompliziert liegen die Verhältnisse noch bei

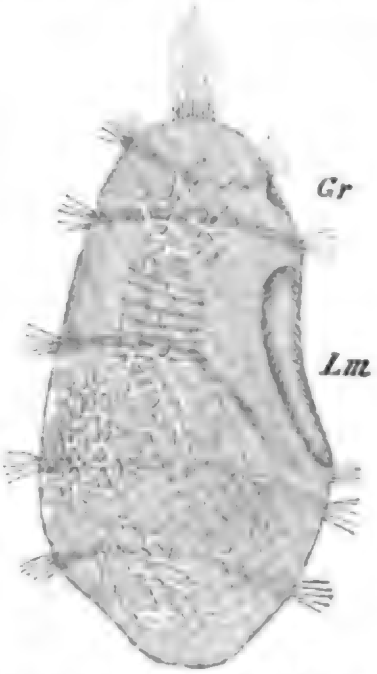


Fig. 42. Larve eines Crinoiden (Antedon rosacea) mit Wimperreifen und Wimperschopf sowie mit Anlagen von Skelettplatten im Inneren. Nach E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der Tiere. Spez. Teil 1890, Fig. 217. Gr Grübchen mit dem die Larve sich festsetzt, Lm Larvenmund.

den Holothurien, wo die Auricularia unter Umlagerung der Wimperstreifen zunächst in einen tonnenförmigen „Puppen"körper übergeht und sodann unter sehr bedeutenden Veränderungen in der inneren Organisation und unter Ausbildung der Tentakel und Füßchen direkt in die fertige Holothurie sich umwandelt. Bei den übrigen Formen wird der größte Teil des Larvenkörpers abgeworfen; das fertige geschlechtsreife Tier geht aus Neubildungen hervor, die am hinteren Körperabschnitt der Larve sich in Form von Verdickungen oder Einstülpungen anlegen und von der inneren Organisation der Larve namentlich die Anlage des Wassergefäßsystems in sich aufnehmen.

In dem bilateral symmetrischen Aufbau ihres Körpers lassen die Echinodermenlarven zweifellos ein primitives Verhalten gegenüber den radiär gebauten geschlechtsreifen Formen erkennen, man hat sie in Rücksicht gerade auf diese Eigenschaft wohl auch als Dipleurula bezeichnet. Die Umbildung zum radiären Bau vollzog sich wohl in Zusammenhang mit dem Erwerb einer festsitzenden Lebensweise. Ueber die eigentliche Abstammung und über die verwandtschaft-

Digitized by Google

lichen Beziehungen der Echinodermenlarven sind wir gänzlich im Unklaren und nur eine Larvenform kennen wir noch, welche gewisse Berührungspunkte mit ihnen besitzt. Es ist dies die **Tornarialarve** von Balanoglossus. Auf jüngeren Stadien (Fig. 43a)

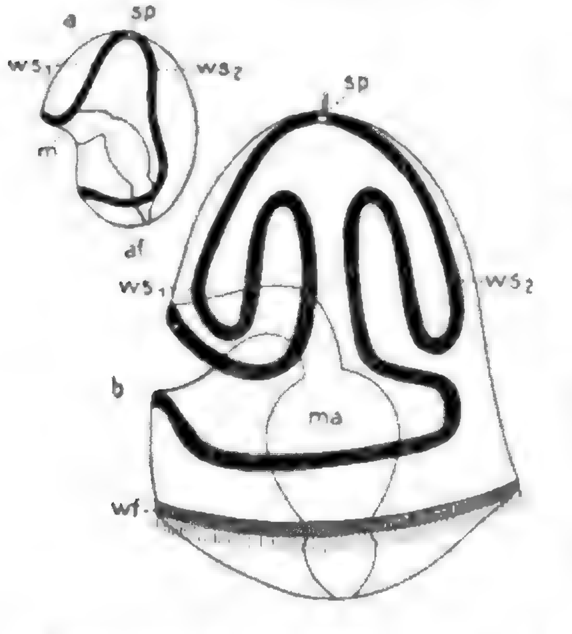


Fig. 43. Tornarialarve von Balanoglossus in einem jüngeren (a) und einem älteren (b) Entwickelungsstadium. Nach J. W. Spengel, Enteropneusta, Fauna und Flora v. Neapel, XVIII. Monogr. 1893, Taf. 22 Fig. 1, 5. af After, m Mund, ma Magen, sp Scheitelplatte, wf hinterer Wimperreifen, ws_1 präorale, ws_2 postorale Wimperschnur.

ist die Larve annähernd eiförmig und trägt auf ihrer Ventralseite ein flach eingesenktes Mundfeld. Dieses Mundfeld ist auch hier von Wimperschnüren umsäumt, und zwar von zweien. Die eine umschließt, jederseits vom vorderen Mundrand bis zum Scheitel verlaufend, ein Präoralfeld, die zweite umzieht den unteren Rand des Mundfeldes, schlägt sich dann ebenfalls zum Scheitel empor und umsäumt so ein Postoralfeld, welches die ganze Rückenfläche in sich faßt. Am Scheitelpol stoßen beide Wimperschnüre bis zur unmittelbaren Berührung zusammen und hier liegt eine Scheitelplatte. Im Innern findet sich ein einfacher Darmtraktus vor. Auf späteren Stadien kompliziert sich der Aufbau der Larve (Fig. 43b), die Wimperschnüre erhalten tiefe Ausbuchtungen, durch einen neu hinzutretenden Wimperreifen wird ferner ein besonderes Analfeld abgegrenzt, die Scheitelplatte entwickelt einen Wimperschopf. Die Metamorphose vollzieht sich unter Streckung des Körpers, Verlust der Wimperschnüre und Differenzierung der einzelnen Abschnitte des Enteropneustenkörpers. Auch diese Larvenform steht im übrigen völlig isoliert da.

δ) **Larvenformen der Gliedertiere (Arthropoden).** Die Larvenformen der Gliedertiere unterscheiden sich prinzipiell von allen bisher betrachteten dadurch, daß sie keine primitiven Zustände weit zurückliegender Vorfahrentypen mehr darstellen, sondern daß ihr Bau schon völlig von der besonderen charakteristischen Organisation des Gliedertierkörpers beeinflußt und bestimmt erscheint. Alle Larvenformen sind bereits, je nach ihrer Zugehörigkeit, typische Krebse oder typische Insekten, und sie sind nur insofern primitiver als die ausgebildeten Formen, als sie deren Organisation in sehr viel mehr vereinfachter Form, sozusagen im Urtypus zeigen. Von dem Bau primitiver Schwärmlarven ist dagegen nirgends mehr eine Spur nachweisbar.

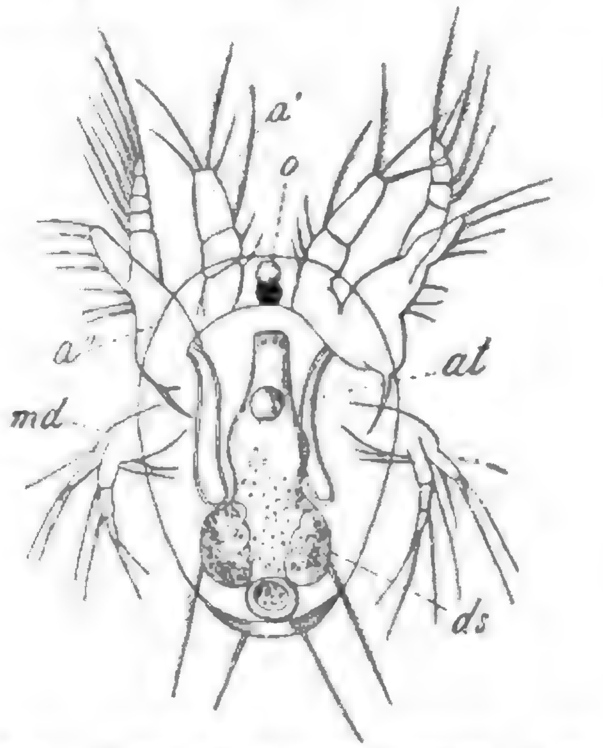


Fig. 44. Nauplius-Larve eines Copepoden. Aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der Tiere. Spez. Teil 1890, Fig. 266. a' erste, a'' zweite Antenne, md Mandibel, o Naupliusauge, at Antennendrüse, ds Darmaussackungen mit Harnzellen.

Die typische ursprüngliche Larvenform der Krebse ist der **Nauplius** (Fig. 44), in allem genommen bereits ein typisches Krebstierchen, dessen länglichovaler segmentierter Körper drei Extremitätenpaare trägt, welche zur Fortbewegung im Wasser dienen, später aber unmittelbar von dem ausgebildeten Tier übernommen und dann zu anderen Funktionen herangezogen werden. Das erste Paar ist einästig, es stellt die spätere erste Antenne dar, zweites und drittes Paar

Digitized by Google

sind zweiästig, sie wandeln sich später in die zweiten Antennen und in die Oberkiefer um. Die innere Organisation weist einen primitiven Darmtraktus, ein einfaches Nervensystem, ein unpaares Auge, sowie ein Exkretionsorgan in Form der schleifenförmigen Antennendrüsen auf, alles Organe, die nicht etwa nur Larvenorgane darstellen, sondern durchaus von dem späteren Krebstier übernommen werden, zum Teil in fast unveränderter Form.

Die Metamorphose setzt in der Weise ein, daß an dem Körper des Nauplius, der insgesamt aus vier Segmenten (1 Kopfsegment + 2 Rumpfsegmenten + 1 Analsegment) besteht, sich weitere Rumpfsegmente mit ihren zugehörigen Extremitäten ausbilden, womit unter zahlreichen Häutungen Streckung und Längenwachstum des ganzen Körpers verbunden ist. Es entsteht so eine zweite, höher organisierte Larvenform, der Metanauplius (Fig. 45), und aus diesem geht dann bei den niederen Krebsen, bei den Entomostraken, unter mehr oder weniger beträchtlichen Umformungen der ausgebildete Organismus hervor.

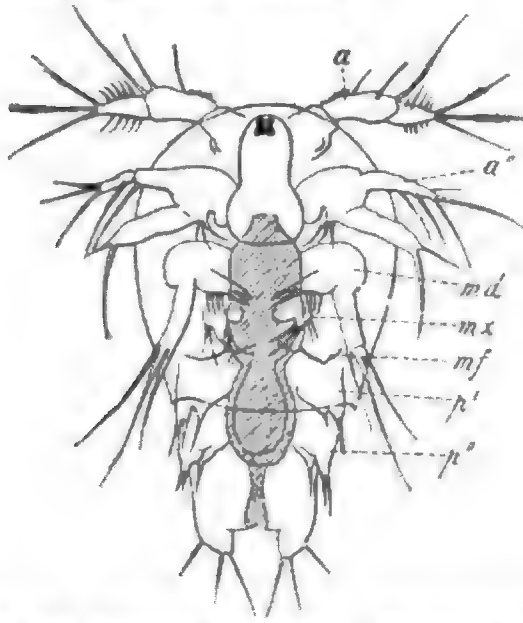


Fig. 45. Metanauplius-Larve eines Copepoden. Aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der Tiere. Spez. Teil 1890, Fig. 289 A. a' erste, a'' zweite Antenne, md Mandibel, mx Maxille, mf zweite Maxille, p' p'' erstes und zweites Thoraxbeinpaar.

Bei den höheren Krebsen, den Malakostraken, liegen die Verhältnisse komplizierter. Auch hier kann ein einfaches Naupliusstadium noch als Ausgangspunkt dienen, es besitzt dann genau den gleichen morphologischen Aufbau wie der Entomostrakennauplius. Ebenso kann auch noch ein Metanauplius mit zahlreicheren Extremitäten auftreten. Viel häufiger setzt aber die eigentliche Larvenperiode mit einer höheren Larvenform ein, mit der Zoëa-Larve, der zuweilen noch ein besonderer Vorläufer, die Protozoëa, vorausgeht. Der Körper der Zoëa (Fig. 46) zeigt zunächst

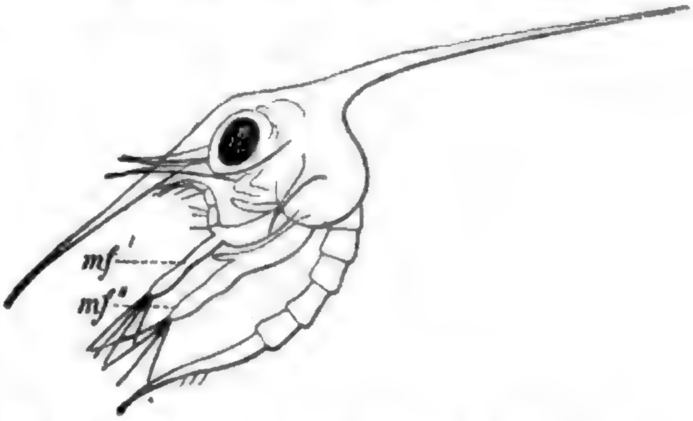


Fig. 46. Zoëa einer Krabbe. Aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der Tiere. Spez. Teil 1890, Fig. 313. mf' mf'' Maxillarfüße.

bereits eine deutliche Scheidung in einen vorderen, von einem Rückenschild bedeckten Cephalothorax und in ein langes schmales gegliedertes Abdomen. Von Extremitäten sind an dem häufig durch lange Fortsatzbildungen ausgezeichneten und mit einem Paar großer Augen ausgerüsteten Vorderkörper insgesamt sieben Paare ausgebildet, die zusammen mit dem Abdomen der Fortbewegung beim Schwimmen dienen. Die Extremitäten entsprechen von vorn nach hinten den späteren beiden Antennen, den Mandibeln, zwei Maxillen und zwei Maxillarfüßen. Am Thorax, dessen Segmente noch kaum ausgebildet sind, sowie am Abdomen fehlen die Extremitäten noch völlig. sie treten in diesen Regionen erst auf dem folgenden Larvenstadium hervor, bei der Metazoëa der einen, beim Mysisstadium anderer Formen. Und diese letzteren führen dann schließlich zu den Endstadien der Metamorphose über, von denen noch das für die Entwickelung der Krabben so überaus charakteristische, durch seine großen gestielten Augen ausgezeichnete Megalopa-Stadium angeführt sei, welches zugleich von der pelagischen zur kriechenden Lebensweise übergeht.

Alle diese Larvenformen stellen aber nun keineswegs ursprüngliche Formzustände des Krebsstammes dar. Die Urform, welche ihnen zugrunde lag, ist völlig verwischt dadurch, daß Merkmale, die von dem in der phyletischen Entwickelung vorwärtsschreitenden Krebsstamm erworben wurden, auf immer jüngere Entwickelungsstadien zurückverlegt wurden. So entstand der Nauplius, dessen ganze Organisation nur zu erklären ist aus den Verhältnissen des späteren erwachsenen Tieres, nicht aber irgendwelcher,

Digitized by Google

etwa annelidenartiger Vorfahren. Und die höher ausgebildeten Larvenformen, wie etwa die Zoëa, sie sind dann weiter noch durch sekundäre Anpassungen, zumal an die pelagische Lebensweise, weiter modifiziert und umgestaltet worden und entfernen sich so noch mehr von einer etwaigen Urform.

Eine besondere Modifikation der Naupliuslarve stellt die Larve der Pantopoden dar, einer Tiergruppe, welche sich frühzeitig vom Krebsstamme losgelöst hat. Die Larve, welche man hier als Protonymphonlarve (Fig. 47) bezeichnet hat, weist an

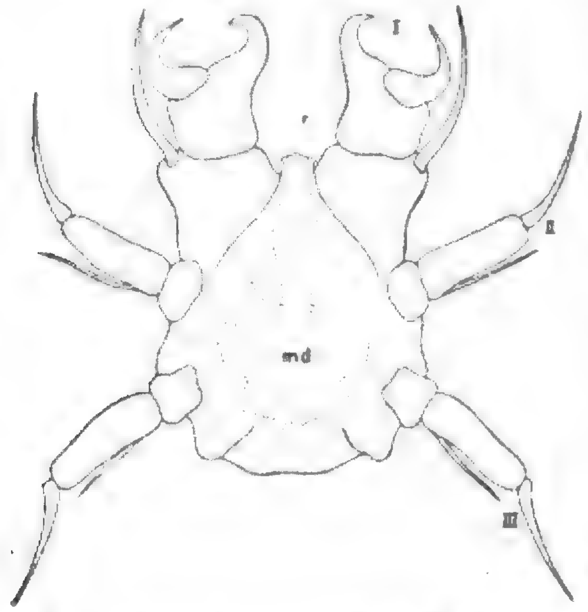


Fig. 47. Protonymphon-Larve eines Pantopoden. Nach J. Meisenheimer, Zeitschr. wiss. Zool. 72. Bd., Taf. XIV Fig. 13. I—III die drei Extremitätenpaare, md Mitteldarm, r der schnabelförmige Rüssel.

ihrem plumpen Körper gleichfalls drei Extremitätenpaare auf. Aber dieselben sind hier der Kriechbewegung angepaßt und daher, im Gegensatz zu den Ruderfüßen der pelagisch lebenden Krebslarven mit Scheren, Krallen und Borsten ausgerüstet. Die Metamorphose erfolgt durch Hinzutreten neuer Segmente und Extremitäten am Hinterende des Körpers sowie durch weitgehende Umbildungen der Larvenextremitäten.

So wie die Krebslarven in allen ihren Teilen überall die spezifische Krebsorganisation durchblicken lassen, so erscheinen die Insektenlarven durchaus stets als typische Insekten. Die primitivste der hierher gehörigen Larvenformen ist wohl zweifellos die Campodealarve (Fig. 48), ausgezeichnet durch einen gegliederten Körper, der bereits eine Scheidung in Kopf, Thorax und Abdomen erkennen läßt. Der Kopf ist der Träger von Fühlern, Augen sowie beißenden Mundwerkzeugen, der Thorax besteht aus drei Segmenten und weist drei Beinpaare auf, das Abdomen ist vielgliederig und am Ende durch den Besitz langer Afterfäden (Cerci) ausgezeichnet. Flügel fehlen noch vollständig. Es sind dies alles Merkmale, welche die primitivsten aller Insekten, die Thysanuren, auszeichnen, und nach einer Gattung dieser Gruppe, nach der Gattung Campodea, hat die Larve auch ihren Namen erhalten. Es findet sich diese Larvenform namentlich bei Ephemeriden, Perliden, Libellen sowie bei gewissen Käfern vor, sie ist zumeist noch durch den Besitz besonderer Larvenorgane, die zum Leben im Wasser befähigen, ausgezeichnet, also vor allem durch Kiemen, die in Form mannigfach gestalteter und gelappter Hautanhänge auftreten.

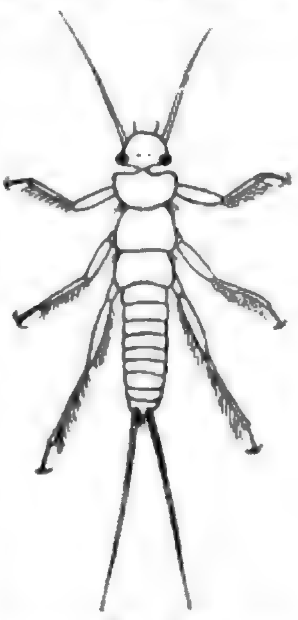


Fig. 48. Campodea-Larve von Perla maxima. Aus R. Tümpel, Die Gradflügler Mitteleuropas 1907, Fig. 49.

Aus der Campodealarve hat sich dann zunächst die Raupenform entwickelt. Auch sie besitzt einen abgegliederten Kopf und drei Thorakalextremitäten, daneben müssen aber als ihr besonderes Charakteristikum die sekundär hinzutretenden Abdominalfüße gelten, die an einer wechselnden Zahl von Abdominalsegmenten sich finden und der zumeist pflanzenfressenden Larve vorzügliche Dienste beim Festhalten an Blättern und Zweigen leisten. Wir begegnen einer Raupe als Larvenform bei Netzflüglern (Neuropteren), bei Köcherfliegen (Phryganiden), bei Schmetterlingen und Blattwespen. Und aus der Raupenform, oder auch direkt aus der Campodealarve, ist dann weiter die Madenform hervorgegangen, durch starke Auftreibung der Körperringe sowie durch mehr oder weniger vollständige Reduktion der Extremitäten. Solche Larven leben meist in flüssigen, faulenden oder vermodernden Stoffen, sie werden angetroffen bei Käfern, Hymenopteren und in höchster Ausbildung bei den Fliegen.

Alle diese Larvenformen sind zweifellos durch Anpassungen an sekundär erworbene Lebensgewohnheiten entstanden zu denken, an das Leben im Wasser, auf Pflanzen, in faulenden Stoffen. Phylogenetisch haben sie nur insofern einige Bedeutung, als sie in ihrer einfacheren Organisation noch Anklänge an die niedersten Insektenformen zeigen und so ein phylogenetisches Jugend-

Digitized by Google

stadium wiederholen. Darüber hinaus reicht aber ihre Bedeutung nicht.

Die Metamorphose erfolgt zum Teil auf eine recht komplizierte Weise, insofern es außerordentlich eingreifender, innerer und äußerer, Umlagerungen bedarf, um die Larve in die erwachsene Form überzuführen. Zumeist erfolgt dies unter Vermittelung eines ruhenden Zwischenstadiums, einer Puppe. Auf diesem Stadium ist Bewegungsfähigkeit und Nahrungsaufnahme völlig sistiert, in ihm werden die äußeren Gestaltsverhältnisse des Insekts festgelegt, in ihm erfolgt eine Umarbeitung der inneren Organisation, durch welche große Teile der Larvenorganisation zerstört und unter Vermittelung besonderer embryonaler Entwickelungszentren, sogenannter Imaginalscheiben, neu aufgebaut werden.

Nicht alle Insekten besitzen indessen ein typisches Larvenstadium, bei vielen — und es sind dies gerade die niedersten Formen — unterscheidet sich das aus dem Ei schlüpfende junge Insekt nur sehr wenig von dem erwachsenen, in erster Linie durch die geringere Größe, durch das Fehlen der Flügel und durch die mangelnde Geschlechtsreife, daneben aber auch noch durch mancherlei geringfügigere Merkmale. Die Umformung in das definitive Insekt erfolgt ganz allmählich durch eine Anzahl von Häutungen hindurch. Solche Insekten hat man als Insekten mit Umwandlung, als Epimorpha, bezeichnet, zu ihnen gehören die Thysanuren, die Orthopteren, die Termiten, die Wanzen (Rhynchoten). Die übrigen Insekten machen dagegen eine Verwandlung durch, sie sind als Metamorpha zu bezeichnen. Von ihnen bilden die niederste Stufe solche Formen, deren Larven zwar bereits stark spezialisiert sind, sich aber immerhin noch ohne allzu große Umlagerungen in das fertige Insekt verwandeln (Hemimetabola = Libellen, Perliden). Auf der zweiten Stufe, durch die Ephemeriden gekennzeichnet, wird die Bildung eines Puppenstadiums eingeleitet (Prometabola), und bei den höchstentwickelten Insekten, bei den Holometabola, ist dieses Puppenstadium in seinen charakteristischen Formen ausgebildet.

ε) Larvenformen der Manteltiere und Wirbeltiere. Bei den Chordatieren treten Larvenformen sehr stark in den Hintergrund, sie finden sich nur bei einigen wenigen Gruppen derselben vor, besitzen aber zum Teil eine hohe phyletische Bedeutung.

Unter den Manteltieren oder Tunicaten begegnen wir Larven nur bei den Ascidien. Es besteht eine solche Larvenform (Fig. 49) aus einem vorderen gedrungenen Rumpfabschnitt, der einige Haftpapillen trägt, und aus einem hinteren, seitlich komprimierten Ruderschwanz, so daß ungefähr die Gestalt einer Kaulquappe herauskommt, der die Larve auch in der Bewegungsform ähnelt. Im Innern ist der Körper zunächst zum größeren Teil vom Darmtraktus durchzogen, der sich im Rumpf zu einem Kiemendarm erweitert, im Schwanz dagegen auf

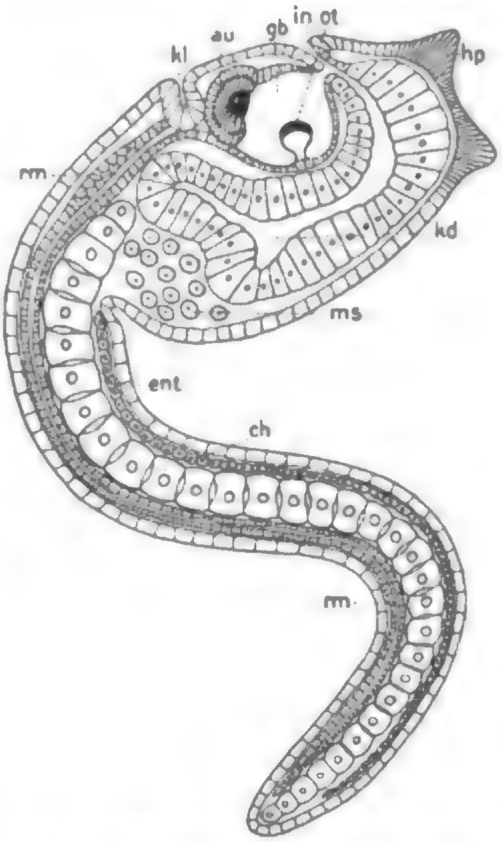


Fig. 49. Larvenform einer Ascidie im Längsschnitt. Etwas schematisiert. Nach A. Kowalevsky, Arch. mikr. Anat. 7. Bd. 1871, Taf. 12 Fig. 32. au Auge, ch Chorda, ent Entodermzellen des Schwanzabschnittes, gb Gehirnblase, hp Haftpapillen, kd Kiemendarm, kl Kloakeneinstülpung, in Mund, ms Mesodermzellen, ot Otolith, rm Rückenmark.

einen einfachen Zellenstrang reduziert erscheint. Ueber diesem letzteren liegt in der Ausdehnung des ganzen Schwanzabschnittes ein aus aneinander gereihten gallertigen Zellen aufgebautes Stützskelett, die Chorda. Ganz dorsalwärts erstreckt sich über den Körper das Nervenrohr, welches im vorderen Abschnitt zu einer gehirnartig aufgetriebenen Sinnesblase erweitert ist. Dieselbe enthält Auge und Otolithen und steht ferner durch eine Flimmergrube mit dem Kiemendarm in Verbindung. Der frei schwimmende Zustand dieser Larve dauert nur kurze Zeit. Alsbald heftet sie sich mit ihren vorderen Papillen fest, der Ruderschwanz wird zusammen mit Chorda und Nervenrohr zurückgebildet, das gleiche Schicksal erleiden die Sinnesorgane, während gleichzeitig die Organisation des definitiven Tieres sich anzulegen beginnt. Es weisen diese

Digitized by Google

Larven mit Sicherheit darauf hin, daß die Ascidien dem Stamm der Chordatiere angehören, also in engster verwandtschaftlicher Beziehung zu den Wirbeltieren stehen, mit deren Organisation der Bau der Larven prinzipiell übereinstimmt. Es sei übrigens bemerkt, daß zudem Chorda und Ruderschwanz bei einer Gruppe von Manteltieren, bei den Appendicularien, zeitlebens erhalten bleiben.

Unter den Wirbeltieren begegnen wir Larvenformen zunächst bei einzelnen Fischfamilien, wo sie sich aber überall leicht auf sekundäre Anpassung an irgendeine bestimmte Lebensweise zurückführen lassen. Dies gilt beispielsweise für die Leptocephaluslarven der aalartigen Fische, der Muraenoiden, die aus einer Anpassung an die pelagische Lebensweise hervorgegangen sind. Ein solcher Leptocephalus (Fig. 50a) besitzt

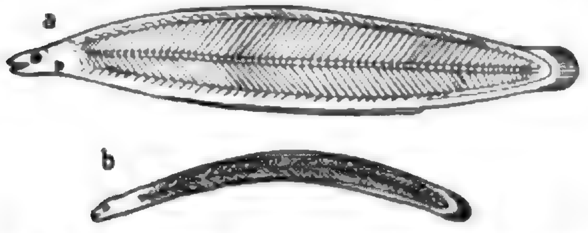


Fig. 50. a Leptocephalus brevirostris vom Aal (Anguilla vulgaris); b junger Aal nach der Metamorphose. Aus O. Hertwigs Handbuch der vergleichenden Entwickelungslehre der Wirbeltiere. I. Bd. 2. Teil 1906, Fig. 11 h und l.

zumeist einen sehr langgestreckten bandförmigen Körper, dessen Vorderende ein kleiner Kopf aufsitzt, während das Hinterende in eine kurze Schwanzflosse ausläuft. Umsäumt ist der Rumpf von einem kontinuierlichen Flossensaum, hinter dem Kopf liegt weiter eine kleine Brustflosse. Der ganze Körper ist fast völlig von Muskeln erfüllt, deren Masse durch feine Septen in zahlreiche einzelne Kästchen zerlegt wird. Es leben diese Larven in großen Tiefen des Meeres, hier spielt sich auch die Metamorphose ab, die in höchst eigenartiger Weise mit einer starken Größenreduktion des Larvenkörpers einsetzt und so allmählich zur schlanken Aalform überführt (Fig. 50b). Larvenorganen begegnen wir ferner bei den Embryonen des Bitterlings (Rhodeus amarus), dessen Embryonen sich in den Kiemen von Muscheln entwickeln und an ihrem Dottersack eigenartige Ankerfortsätze zum Festhalten an den Kiemenlamellen ausbilden. Die Larven von Tiefseefischen aus der Familie der Stomiatiden tragen ihre Augen auf langen dünnen Stielen, die später zurückgebildet werden. Bei den Plattfischen (Pleuronectiden) sind die Jugendformen zunächst noch durchaus symmetrisch gestaltet und erwerben erst allmählich die eigenartige Asymmetrie, welche diese Fische auszeichnet.

Eine größere allgemeinere Bedeutung als diesen Fischlarven kommt den Larven der Dipnoer oder Lungenfische (Fig. 51a) zu. In ihrer charakteristischsten Form besitzen dieselben einen langgestreckten Körper, der über Rücken, Schwanz und einen Teil des Bauches von einem unpaaren Flossensaum umzogen wird. Die Bauchseite wird im übrigen von dem langgestreckten Dottersack eingenommen. Der Kopf ist der Träger bedeutsamer Larvenorgane, einmal besonderer gefiederter äußerer Kiemen und dann eines eigenartigen klebrigen Saugorgans auf der Ventralfläche. Bei der Metamorphose werden diese Larvenorgane rückgebildet, an Stelle der äußeren Kiemen treten innere und zugleich setzt die Lungenatmung ein. Die als stummelförmige Höcker bereits auf dem Larvenstadium angelegten paarigen Flossen erhalten ihre volle Ausbildung.

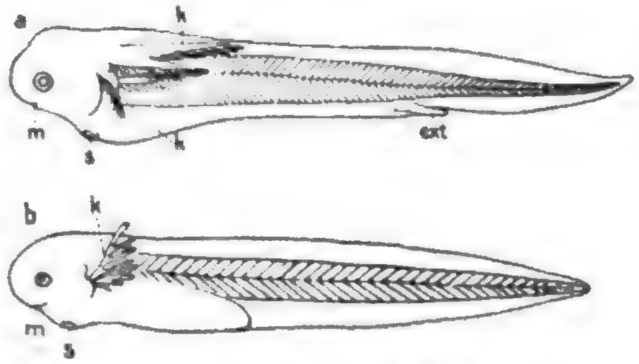


Fig. 51. a Larve eines Lungenfisches (Protopterus). Nach J. Gr. Kerr, Normal plates of the development of Lepidosiren and Protopterus: Normentafeln (Keibel), 10. Heft 1909, Taf. III Fig. XXXIV. b Kaulquappe von Rana temporaria. Nach R. Hertwig, Lehrbuch der Zoologie. k Kiemen, m Mund, s Saugorgan, ext Extremitätenanlage.

Diese Larvenformen sind deshalb von großer Bedeutung, weil sie außerordentlich den Amphibienlarven ähneln und somit auf nahe verwandtschaftliche Beziehungen dieser beiden Tiergruppen hinweisen. Die Larve der Frösche beispielsweise, allgemein als Kaulquappe (Fig. 51b) bekannt, besitzt einen ebensolchen langgestreckten Körper (an dem freilich der von einem Flossensaum umzogene Ruderschwanz sehr viel stärker hervortritt) und weist zu beiden Seiten des Kopfes ebensolche gefiederte äußere Kiemen auf, sowie auf der Unterfläche des Kopfes ähnliche Saugorgane. Die Metamorphose führt ebenfalls zu Verlust von äußeren Kiemen und Saugorganen; an Stelle der ersteren treten hinter einem stark entwickelten Kiemendeckel innere Kiemen auf, die späterhin, nachdem sie infolge der einsetzenden Lungenatmung überflüssig

Digitized by Google

gewordon sind, gleichfalls wieder schwinden. Die Extremitäten wachsen an den Seiten des Körpers hervor und unter allmählicher Reduktion des Ruderschwanzes nähert sich der junge Frosch seiner definitiven Gestalt. Ganz ähnlich sind in allem auch die Larven unserer Wassersalamander gebaut, nur behalten sie über die Metamorphose hinaus zeitlebens einen Schwanz. Und selbst die Larven von völlig dem Landleben angepaßten Amphibien, wie der Gymnophionen, lassen noch Reste einer ursprünglich dem Wasserleben angepaßten Larvenorganisation in gefiederten äußeren Kiemen und rudimentärem Schwanzsaum erkennen.

Den höheren Wirbeltieren fehlen Larvenformen, und höchstens könnte man noch bei den Jungen der Beuteltiere von Larvenorganen reden, wenn dieselben einen besonderen, später wieder schwindenden hornigen Saugmund zum Einschlürfen des Milchsekrets der Mutter entwickeln.

3b) **Direkte Gestaltsbildung ohne Verbindung mit Larvenstadien.** Eine direkte Umbildung der Eiform in das fertige geschlechtsreife Tier auf dem Wege ganz allmählich sich vollziehender Veränderungen stellt sich bei vielen Wirbellosen als ein sekundäres Verhalten heraus, ableitbar aus einer Unterdrückung der Larvenform zugunsten einer abgekürzten direkten Entwickelung. Fast in allen Tiergruppen lassen sich derartige Fälle nachweisen, bei Coelenteraten, Würmern, Echinodermen, Krebsen, Mollusken. Daneben ist es dann der Dotterreichtum des Eies, welcher sehr häufig eine direkte Entwickelung zur Folge hat, und zwar ist es bei den Wirbellosen im besonderen die Anlage eines Keimstreifens, welche hier zu den charakteristischsten Formen direkter Gestaltsbildung führt.

Einen verhältnismäßig einfach gebauten Keimstreifen weisen die Regenwürmer in ihrer Entwickelung auf (Fig. 52). Nach der Ausbildung der Primitivanlagen und nachdem das Entoderm im Innern sich in eine mit Eiweiß prallgefüllte primitive Darmhöhle umgewandelt hat, tritt äußerlich zunächst eine Differenzierung insofern auf, als die Elemente des Ectoderms auf der Rückenfläche stark abgeplattet erscheinen, auf der Bauchfläche dagegen hohe flimmernde Zylinderzellen darstellen. Im Inneren bilden sich ferner auf der Ventralseite die Urmesodermstreifen aus, die vom hinteren Körperende bis in die Gegend der späteren Mundregion reichen, in der Mittellinie aneinander stoßen und sich von vorn nach hinten in die Ursegmente zu gliedern beginnen. Diese mesodermalen Elemente liegen zwischen dem von Eiweiß erfüllten Entodermsack und dem aus zylindrischen Zellen sich zusammensetzenden Ectoderm, sie heben letzteres empor und bilden auf ihm ihre eigenen Reliefverhältnisse ab, die in ihrer Gesamtheit nun einen zu beiden Seiten der Mittellinie sich vorwölbenden segmentierten Längsstreifen, eben den Keimstreifen, darstellen (Fig. 52a). Eine Verbreiterung im vorderen Bereich des Keimstreifens trägt die Mundeinstülpung und ist als Anlage des Kopfabschnittes aufzufassen. Die weiteren Umbildungen beruhen im wesentlichen darauf, daß der Keimstreifen an Umfang stetig

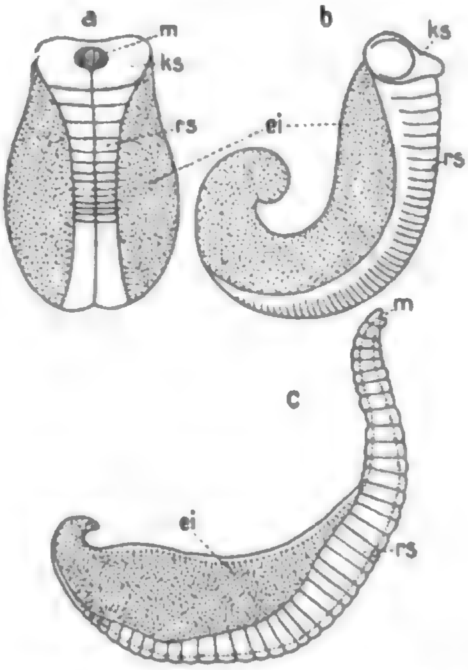


Fig. 52. Ausbildung der äußeren Körperform bei einem Regenwurm. a jüngeres Stadium von der Ventralfläche, b und c ältere Stadien in Seitenansicht. a und b aus J. Meisenheimer, Entwicklungsgeschichte der Tiere 1908, I. Bd. Fig. 39; c aus E. Korschelt und K. Heider, Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der Tiere. Spez. Teil 1890, Fig. 132. ei Eiweißsack, ks Kopfsegment, rs Rumpfsegmente des Keimstreifens, m Mund.

zunimmt, namentlich nach den Seitenteilen hin, so den Eiweißsack umwächst und in sich aufzunehmen beginnt (Fig. 52b), während gleichzeitig innere und äußere Segmentierung nach hinten stetig fortschreitet. Der Eiweißsack tritt dann auch äußerlich gegenüber dem Keimstreifen immer mehr zurück (Fig. 52c), und wenn er schließlich ganz aufgenommen ist, so ist damit zugleich auch die Form des jungen Regenwurms fertig. Bei den Blutegeln spielen sich die Vorgänge im wesentlichen in der gleichen Weise ab, nur ist die Zusammensetzung der Keimstreifenelemente eine etwas kompliziertere.

Den höchsten Ausbildungsgrad erreicht der Keimstreifen bei den Gliedertieren, bei einzelnen Krebsen, bei Skorpionen, Spinnen und Insekten. Wir wählen als Beispiel für

unsere Betrachtung den Skorpion (Fig. 53). Auf dem dotterreichen Ei bildet sich durch eine diskoidale Furchung eine Keimscheibe aus, die sehr bald eine längliche ovale Form annimmt und sich durch Querfurchen zu gliedern beginnt (Fig. 53 A). Die so entstehenden Segmente zeigen alsbald charakteristische Unterschiede und lassen namentlich einen verbreiterten Kopfabschnitt von mehr gleichmäßig ausgebildeten Rumpfsegmenten unterscheiden (Fig. 53 B). Der nächstfolgende wichtige Vorgang besteht dann in dem Hervorknospen der Gliedmaßen, die an den Rändern des Keimstreifens als kugelige oder länglich ovale Vorwölbungen auftreten und sich von dem mittleren Bezirk des Keimstreifens sondern (Fig. 53 C). Letzterer wird durch eine mediane Längslinie in zwei Hälften gespalten, und diese Längslinie zerlegt in Verbindung mit den Querfurchen der einzelnen Segmente den ganzen Keimstreifen in zwei Reihen kästchenförmiger Gebilde, von denen je zwei die einzelnen Ganglienpaare andeuten. Alle diese Differenzierungen erfolgen zunächst nur im Bereich des eigentlichen Rumpfes, weiter nach hinten, im abdominalen Bezirk, vollzieht sich zunächst noch die Abspaltung weiterer Segmente, bis sich dann auch hier die gleichen Vorgänge wiederholen. Die weiteren Umwandlungen setzen dann wiederum zuerst im vorderen Körperabschnitt ein (Fig. 53 D), wo es in dem Kopflappen zur Ausbildung der Gehirn- und Augenanlagen kommt, wo die Gliedmaßen ihre spezifische Gestalt ausbilden, indem das erste Paar zu den Cheliceren, das zweite zu den scherentragenden Pedipalpen, die darauffolgenden zu den Gangbeinen werden. Die Abdominalgliedmaßen haben ein sehr verschiedenes Schicksal. Das erste Paar wird bald nach der Anlage wieder zurückgebildet, das zweite wandelt sich in die Genitalopercula, das dritte in die Kämme um, die übrigen treten unter starker Abplattung in Beziehung zu den lungenartigen Atmungsorganen. Der hinterste Abschnitt des Abdomens erscheint kopfwärts eingeschlagen, er bildet das schwanzartige Postabdomen. Während sich so im Bereich des Keimstreifens, der sich inzwischen über die ganze Ventralfläche des langgestreckten Keimes ausgedehnt hat, der Embryo in allen seinen äußeren Körperteilen angelegt hat, machen sich auch bereits die Anstalten bemerkbar zur Einverleibung der Dottermasse in diesen zunächst noch flächenhaft ausgebreiteten Embryonalkörper. Es geschieht dies dadurch, daß der Keimstreifen in seinen Seitenteilen nach der Dorsalfläche hin sich ausdehnt und so durch allmähliches Umwachsen des Dotters den letzteren schließlich in sich aufnimmt. Indem dann weiter dieser Dotter im Innern von dem wachsenden Embryo aufgezehrt und verbraucht wird, verliert er immer mehr an Masse und demgemäß an formbestimmen-

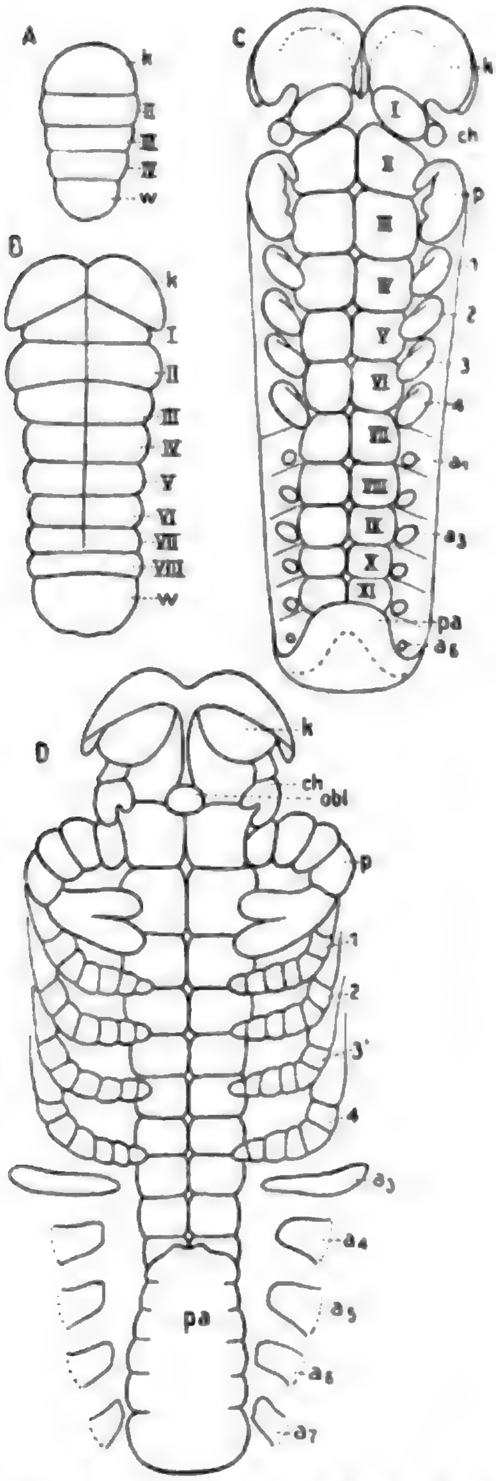


Fig. 53. Ausbildung der äußeren Form des Skorpion-Embryos. Nach A. Brauer, Zeitschr. wiss. Zool. 59. Bd. 1895. A Keimstreifen mit 5 Segmenten, B Keimstreifen mit 10 Segmenten; C Aelterer Keimstreifen mit Anlagen der Extremitäten und des Abdomens; D Embryo mit weit vorgeschrittener Differenzierung der Extremitäten und Sonderung der einzelnen Körperregionen. k Kopfsegment, I—VI die Thoracalsegmente, VII—XIV die Abdominalsegmente, ch Cheliceren, p Pedipalpen, 1—4 die vier Gangbeinpaare, a1—7 die Abdominalbeine, obl Oberlippe, pa Postabdomen.

Digitized by Google

dem Einfluß, wogegen die definitive Gestalt des jungen Skorpions in entsprechendem Maße mehr und mehr hervortritt.

Ganz ähnlich spielen sich die Vorgänge der Gestaltsbildung bei den Spinnen ab, naturgemäß unter den besonderen Modifikationen der Endstadien, wie sie der andersartig gebaute Körper dieser Tiere erfordert. Und auch die Entwickelung des Insektenkörpers, oder die Ausbildung der Larvenformen, die wir ja selbst schon kennen gelernt haben, verläuft genau nach den gleichen Gesetzen. Das sich verdickende Blastoderm bildet zunächst auf der Ventralseite den Keimstreifen aus. Dieser gliedert sich in zahlreiche aufeinanderfolgende Segmente, von denen das vorderste das Kopfsegment, das hinterste das Analsegment darstellt. Die dazwischen gelegenen Rumpfsegmente entwickeln seitlich je ein Extremitätenpaar. Von diesen Segmenten gehen die drei vorderen mit der Anlage von Mandibeln und zwei Maxillenpaaren in der Bildung des Kopfes auf, die drei folgenden liefern den Thorax mit den drei Gangbeinpaaren; die Extremitätenanhänge des Abdomens werden rückgebildet und schwinden zumeist vollständig. Die Ausbildung der definitiven Körperform erfolgt auch hier in der Weise, daß die Seitenfelder des Keimstreifens den Dotter dorsalwärts umwachsen, auf der Rückenfläche von beiden Seiten her zusammenstoßen und so den Dotter in sich aufnehmen, der nun der allmählichen Resorption anheimfällt.

In einer gänzlich anderen Form spielt sich die direkte Gestaltsbildung der Wirbeltiere ab. Die Vorgänge sind innerhalb dieser Tierklasse ihrem Wesen nach überall die gleichen, und nur in ihren äußeren Erscheinungen werden sie durch den wechselnden Dottergehalt sehr stark beeinflußt. Die wesentlichen Prinzipien der Formbildung wollen wir zunächst an dem mittelmäßig dotterreichen Ei eines niederen Wirbeltieres, eines Lungenfisches (Ceratodus), kennen lernen (Fig. 54). Nach bereits erfolgter Bildung von Entoderm und Mesoderm beginnt das Ei sich dorsalwärts abzuplatten (Fig. 54a). Die Ränder der dorsalen Platte erheben sich und schließen zwischen sich eine Rinne ein, die Medullarrinne (Fig. 54b). Letztere streckt und verschmälert sich, ihre Ränder, die Medullarwülste, legen sich aneinander und verschmelzen zu dem Medullarrohr, welches sich nun deutlich als langgestreckter Wulst über die Oberfläche des kugeligen Eies erhebt (Fig. 54c). Sehr frühzeitig treten in dem Medullarrohr Differenzierungen auf, der vordere Teil verbreitert sich zu dem Gehirnabschnitt, der sich alsbald in drei gesonderte Hirnbläschen gliedert, der hintere verschmälerte Abschnitt stellt das Rückenmark dar (Fig. 54d). Die nächsten oberflächlich hervortretenden Erscheinungen der Gestaltsbildung sind die Urwirbel des

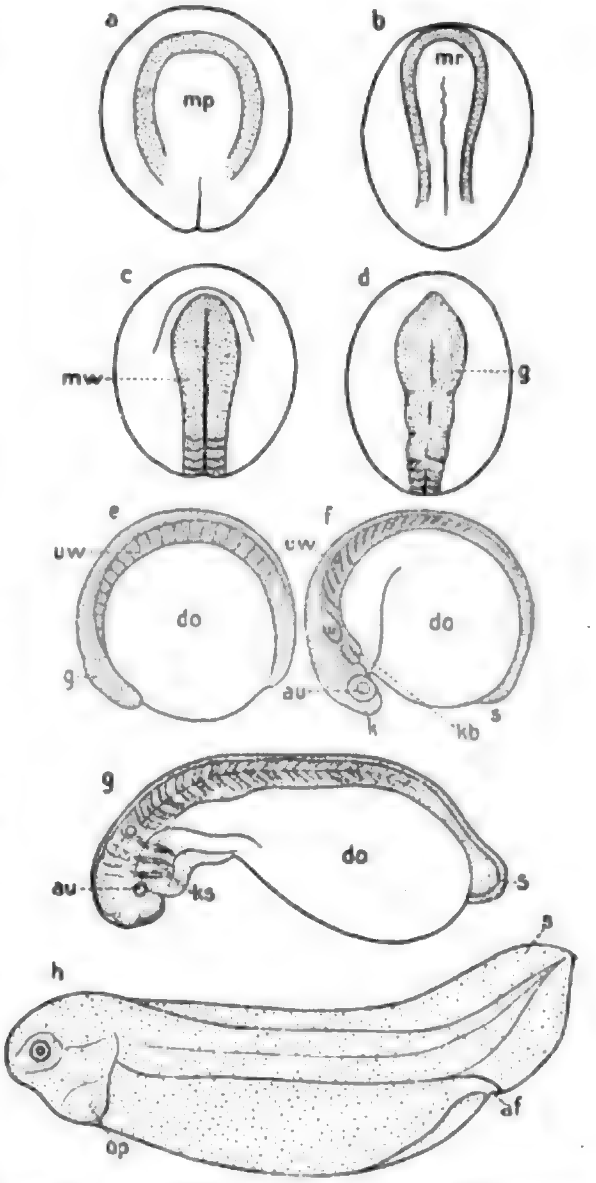


Fig. 54. Ausbildung der äußeren Körperform bei einem Lungenfisch (Ceratodus Forsteri). Nach Semon, Normentafeln herausgegeben von Keibel, 3. Heft 1901, Taf. I, II. a Embryo mit Medullarplatte (mp) in Dorsalansicht, b desgl. mit Medullarrinne (mr); c Embryo in Dorsalansicht mit verschmelzenden Medullarwülsten (mw); d desgl. mit verschmolzenen Medullarwülsten und beginnender Differenzierung der Gehirnbläschen; e Embryo in Seitenansicht mit Gehirnanlage (g) und Urwirbeln (uw); f älterer Embryo in Seitenansicht mit abgehobener Kopfanlage (k) und Schwanzanlage (s), mit Augen (au), Kiemenbögen (kb) und Urwirbeln (uw); g noch älterer Embryo mit gesondertem Kopf (k) und Schwanz (s), mit Augen (au) und Kiemenspalten (ks); h junger ausgeschlüpfter Fisch mit Opercularplatten (op). af After, do Dotter.

Mesoderms, sie bilden zu beiden Seiten des Medullarrohrs Längsreihen kleiner Kästchen (Fig. 54e), die an Zahl stetig zunehmen. Es beginnt sodann der bisher geschilderte

Digitized by Google

Anlagekomplex sich mit dem Kopfabschnitt vom Dotter abzuheben, während der hintere Teil noch dem Dotter dicht aufliegen bleibt und ihn reifenartig umspannt (Fig. 54f). Am Kopfe machen sich seitlich die Anlagen der Sinnesorgane bemerkbar, dahinter treten ferner die Kiemenspalten auf. Mit vorschreitender Entwickelung streckt sich der Embryo in die Länge, der Kopfabschnitt erhebt sich freier, auch der Schwanz löst sich vom Dotter los. Letzterer tritt nun immer mehr gegenüber dem wachsenden Embryonalkörper zurück, er erscheint nur noch als eine wanstartige Vorwölbung der Bauchseite desselben (Fig. 54g). Indem der Dotter dann völlig in den Körper aufgenommen wird, und indem gleichzeitig Kopf- und Schwanzabschnitt im einzelnen sich weiter ausbilden, kommt dann schließlich die charakteristische äußere Gestalt des jungen Lungenfisches zustande (Fig. 54h).

Mit der Anlage des Medullarrohres und der Ausbildung der Ursegmente setzt auch die Entwickelung der äußeren Körperform an dem dotterarmen Ei des Amphioxus, an dem dotterreicheren Ei der Frösche und Salamander ein, die gleichen Vorgänge wiederholen sich in durchaus entsprechender Form auch an den so überaus dotterreichen Eiern der Haifische und Knochenfische sowie der höheren Wirbeltiere. Wir betrachten zunächst etwas näher einen Knochenfisch (Fig. 55). Die erste Anlage des Embryos tritt hier am Hinterrande der Keimscheibe in Form eines rautenartigen, am hinteren Ende knopfartig verdickten Feldes auf (Fig. 55a). Im Bereiche desselben erfolgt durch eine solide Ectodermwucherung die Anlage des Medullarrohres, welches bald eine Scheidung in den vorderen Gehirnabschnitt mit den Augenanlagen und in das hintere Rückenmark erkennen läßt (Fig. 55b). Es treten dann weiter zu beiden Seiten des Medullarrohrs die ersten Urwirbel auf, dieselben vermehren sich bald sehr bedeutend, während gleichzeitig an den Seiten des Kopfes Auge und Gehörbläschen sich schärfer abheben und die Kiemenspalten zur Anlage kommen (Fig. 55c, d). Von besonderer Wichtigkeit für die definitive Formgestaltung sind dann vor allem die Veränderungen an dem außerembryonalen Teil der Keimscheibe. Der verdickte Rand dieses Teiles beginnt nämlich allmählich den Dotter zu umwachsen ,und zwar in der Weise, daß die Umwachsung an der dem Embryo gegenüberliegenden Stelle sehr viel schneller vorwärts schreitet als da, wo das Hinterende des Embryos den Keimscheibenrand berührt. Die Folge ist, daß die von der Keimscheibe noch nicht überwachsene, sich stetig verkleinernde freie Dotteroberfläche immer mehr nach dem Hinterend des Embryos verschoben wird (Fig. 55b), bald nur noch eine kleine kreisförmige, unmittelbar hinter dem Embryo gelegene Fläche (Dotterloch, Fig. 55c) darstellt und endlich ganz schwindet. Es

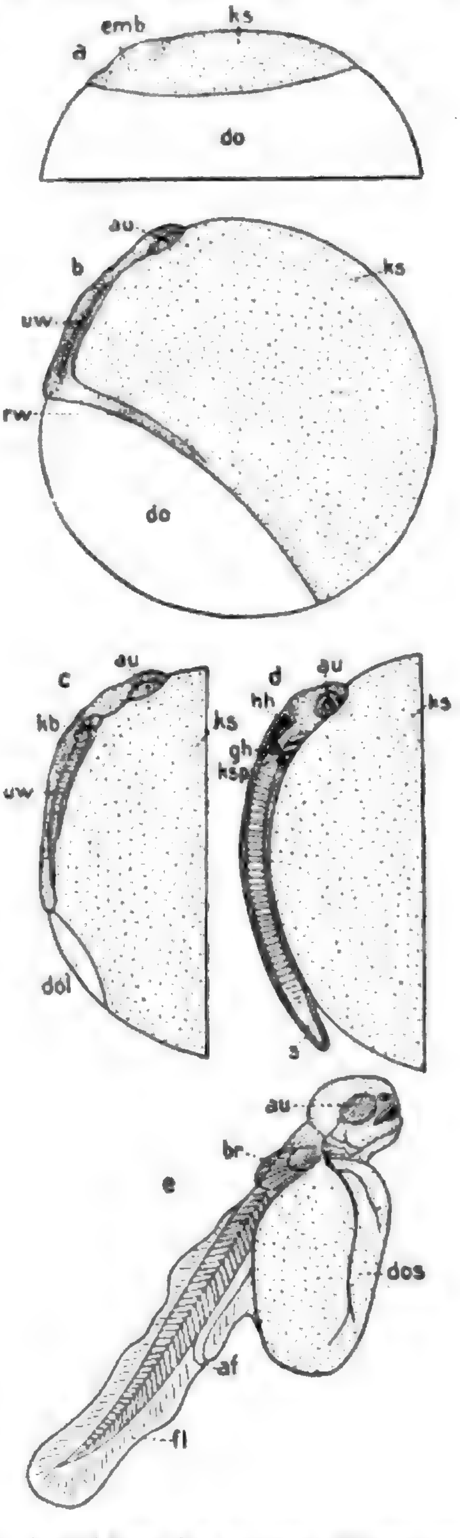


Fig. 55. Ausbildung der äußeren Körperform bei einem Knochenfisch. Aus O. Hertwigs Handbuch der vergleichenden Entwicklungslehre der Wirbeltiere I. Bd. 2. Teil 1906, Fig. 10. Alle Stadien in Seitenansicht. af After, au Auge, br Brustflosse, do Dotter, dol Dotterloch, dos Dottersack, emb Embryonalanlage, fl Flossensaum, gh Gehörbläschen, hh Hinterhirn, kb Kiemenbogen, ks außerembryonaler Bereich der Keimscheibe, ksp Kiemenspalte, s Schwanzanlage, uw Urwirbel.

Digitized by Google

beginnt nun auch der Embryo selbst sich schärfer vom Dotter abzuheben, der Rumpf wölbt sich in seinen Seitenteilen wulstförmig empor, Kopf und Schwanz werden durch besondere Falten vorn und hinten isoliert (Fig. 55d). Während dann der Schwanz nach hinten auswächst, die Flossensäume auftreten, Brust- und späterhin auch Bauchflossen an den Seiten des Rumpfes erscheinen, wird der Dotter unter beträchtlicher Größenreduktion allmählich in das Innere des Fischkörpers selbst aufgenommen. Er sitzt zunächst noch als ein sackförmiges Gebilde der Ventralseite auf (Fig. 55e); ist er aber erst ganz in den Körper einbezogen, so ist damit auch die Gestalt des jungen Fischchens im wesentlichen vollendet.

Das Maximum seiner Entwickelung erreicht der Dotter bei den Eiern der Reptilien und Vögel, und doch bleiben auch hier die äußeren Erscheinungen der Gestaltsbildung im wesentlichen die gleichen. So beginnen beim Hühnchen die ersten Anzeichen der späteren Vogelgestalt sich wiederum in Form der Medullarwülste bemerkbar zu machen, die vor der immer weiter zurücktretenden Primitivrinne gelegen sind (Fig. 56a). Zu beiden Seiten der Wülste erscheinen die kästchenförmigen Urwirbel, es schließt sich weiter die Medullarrinne zum Medullarrohr, das sehr bald im vorderen Bereich eine Gliederung in die drei primären Gehirnbläschen erkennen läßt (Fig. 56b). Später treten dann äußerlich sichtbar am Kopf die Augenblasen, Gehörbläschen, Kiemenspalten auf (Fig. 56c), der Rumpf weist dorsalwärts eine große Zahl von Urwirbeln auf, seitlich sprossen die schon frühzeitig in Flügel und Beine sich differenzierenden Gliedmaßen hervor, ventralwärts liegt vorn die Herzanlage (Fig. 56c, d). Die ganze Embryonalanlage ist zunächst flach über den Dotter ausgebreitet. Am frühesten beginnt dann der Kopfabschnitt sich durch die sogenannte Kopffalte, welche sich zwischen untere Kopfseite und Dotteroberfläche einschiebt, vom Dotter abzuheben, wobei er zugleich aus seiner ursprünglich geradegestreckten Richtung sich heraus dreht und mit der linken Seite dem Dotter auflegt (Fig. 56c). Durch die Gehirnkrümmungen erfährt er ferner gleichzeitig eine kreisförmige Einrollung. Etwas später beginnt auch der Schwanz sich durch eine besondere Schwanzfalte abzuheben und endlich setzen sich auch die Seitenteile durch entsprechende Seitenfalten gegen den Dotter ab. Indem die letzteren Falten tief zwischen Dotter und Embryo eindringen und schließlich von beiden Seiten her miteinander verwachsen, bringen sie die Ventralseite des Embryonalkörpers zur Ausbildung. Nur an einer Stelle unterbleibt die ventrale Abfaltung vom Dotter, im Bereich des späteren Nabels, durch welchen hindurch das sehr mächtig entwickelte Dottergefäßsystem die Nährstoffe des Dotters dem Embryo zuführt (Fig. 56e).

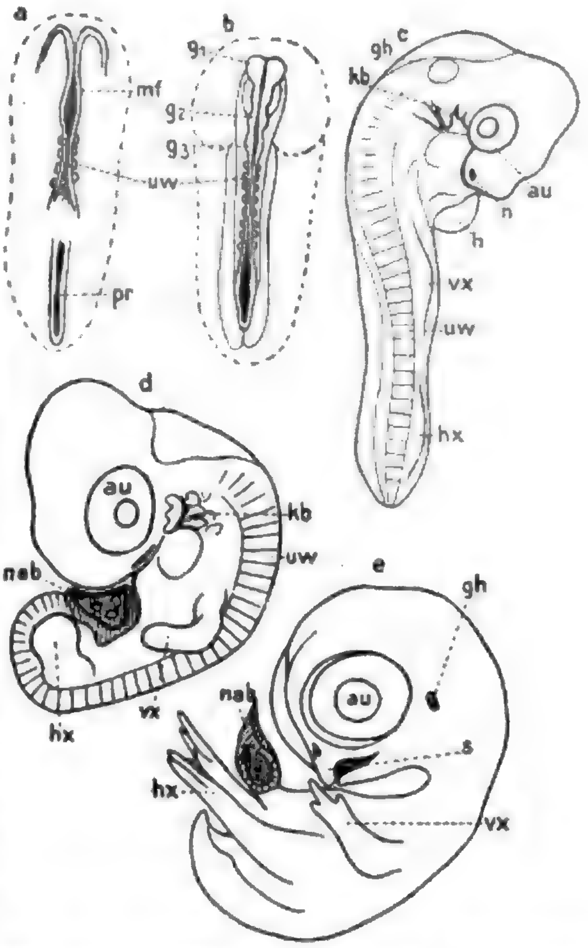


Fig. 56. Ausbildung der äußeren Körperform beim Hühnchen. Aus O. Hertwigs Handbuch der vergl. Entwickelungslehre der Wirbeltiere I. Bd. 2. Teil 1906, Fig. 38. a Hühnchenembryo nach 20 stündiger, b nach 39 stündiger, c nach 67-stündiger, d nach 104 stündiger, e nach 8 tägiger Bebrütungsdauer. au Auge, g^{1-3} die drei Gehirnbläschen, gh Gehörorgan, h Herz, hx hintere Extremitätenanlage, kb Kiemenbögen, mf Medullarfalten, n Geruchsorgan, nab Nabel, pr Primitivrinne, s Schnabel, uw Urwirbel, vx vordere Extremitätenanlage.

Und endlich spielen sich alle diese Formbildungsprozesse in der gleichen Weise auch bei den Säugetieren ab. Die unter Ausbildung von Medullarrohr und Urwirbeln entstandene Embryonalanlage hebt sich in der gleichen Weise durch Faltenbildung von der Keimblase ab, nur daß diese nun nicht mehr einen Dottersack darstellt, sondern nur noch eine von Flüssigkeit erfüllte Blase. Aber daß diese Vorgänge hier noch genau so wie an den dotterreichen Eiern der Reptilien und Vögel verlaufen, das spricht mit Gewißheit für einen ursprünglichen Dotterreichtum des Eies, wie ihn ja die Eier der

Digitized by Google

Monotremen (Schnabeltier und Ameisenigel) tatsächlich noch zeigen. Die späteren Prozesse der Formbildung verlaufen naturgemäß in einer der besonderen Körperform der Säuger entsprechend modifizierten Weise, einige figürliche Darstellungen aus der menschlichen Entwickelung mögen dies noch im besonderen veranschaulichen (Fig. 57).

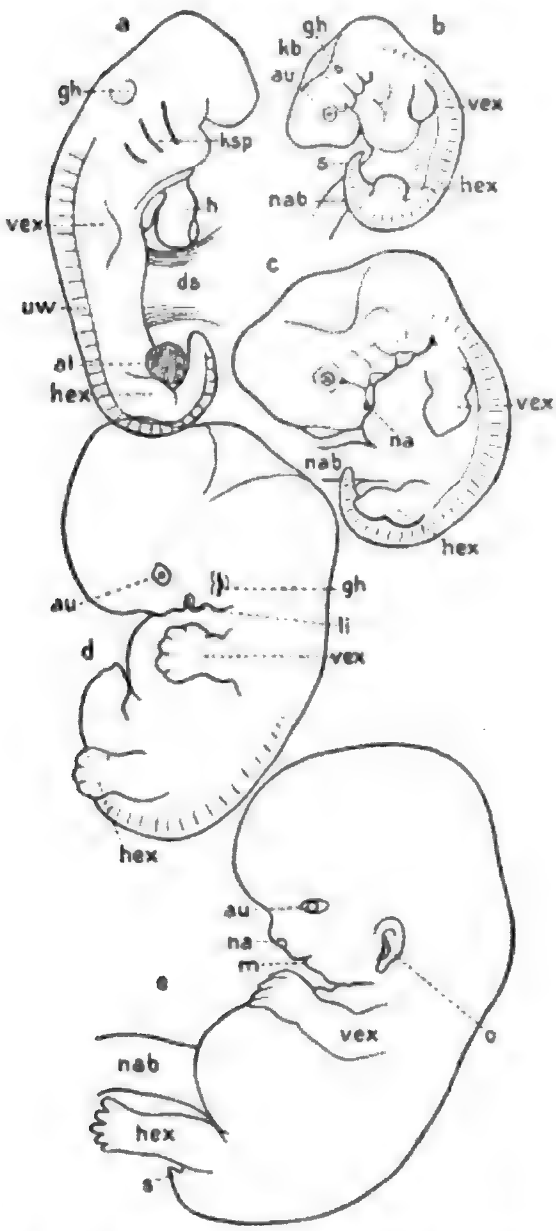


Fig. 57. Ausbildung der äußeren Körperform beim Menschen. Nach Kollmann, Handatlas der Entwickelungsgeschichte des Menschen 1907. Fig. 224 und 225. a menschlicher Embryo von etwa 3 Wochen, b von etwa 4 Wochen, c von etwa 31 Tagen, d von etwa 6 Wochen, e von etwa 7½ Wochen. Verschieden stark vergrößert: bei a beträgt die Nackensteißlänge 4,2 mm, bei b = 7,5 mm, bei c = 9,1 mm, bei d = 15 mm, bei e = 17 mm. al Allantoisgang, au Auge, ds Dottersackgang, gh Gehörorgan, h Herz, hex hintere Extremitätenanlage, kb Kiemenbögen, ksp Kiemenspalten, li Lippen, m Mund, na Geruchsorgan, nab Nabelstrang, o äußeres Ohr, s Schwanz, uw Urwirbel, vex hintere Extremitätenanlage.

3c) Embryonalhüllen. In engstem Zusammenhang mit der sich herausbildenden Körpergestalt steht bei vielen Tieren, besonders bei Glieder- und Wirbeltieren, die Anlage von Embryonalhüllen, welche zum Schutz des Embryos gegen schädigende äußere Einflüsse dienen, zum Teil aber auch wichtige Ernährungsorgane desselben darstellen. Bei niederen Tierformen treten Embryonalhüllen nur selten auf, in einer sehr einfachen Form beispielsweise bei den parasitischen Plattwürmern. Der abgefurchte längliche Keim, eines Distomum etwa, entwickelt an seinem oberen und unteren Ende kappenförmig aufliegende Zellen, die sich vermehren und schließlich den ganzen Embryo umwachsen. Erst innerhalb dieser Hülle differenziert sich dann die eigentliche Schwärmlarve, welche beim Verlassen der Eischale die Hülle zurückläßt.

In sehr viel komplizierterer Ausbildung begegnen wir Embryonalhüllen bei den Skorpionen (Fig. 58), wo die Eier ihre Entwickelung im Uterus der Mutter durchmachen. Schon auf dem Stadium der einfachen Keimscheibe lösen sich die Randzellen des Ectoderms von diesem los und beginnen sich nach zwei Seiten auszubreiten, einmal über die Keimscheibe selbst und dann über den Dotter. Nachdem sich diese flachen Zellenschichten zunächst über der Keimscheibe (Fig. 58a), dann auch über dem Dotter (Fig. 58b) mit ihren frei vorwachsenden Rändern vereinigt haben, bilden sie schließlich eine allseitig geschlossene, Dotter und Keimscheibe gleichmäßig umfassende Hülle (Fig. 58b). Diese erste, äußere Embryonalhülle pflegt man als Serosa zu bezeichnen. Darunter entsteht dann noch eine zweite, indem der ganze ectodermale Rand der Keimscheibe sich umschlägt (Fig. 58a), über dem Embryo emporwölbt und denselben nach der Mitte hin überwächst (Fig. 58b). Nachdem dies geschehen ist, beginnt das Ectoderm des Embryos sich über die außerembryonale Fläche des Dotters auszudehnen, und da die zweite Hülle stets im Zusammenhang mit dem peripheren Rand dieses Ectoderms bleibt, so wird die Hülle selbst zusammen mit dem Ectoderm in Form einer Falte dorsalwärts über den Dotter hinweggezogen (Fig. 58c). Auf der Rückenfläche müssen dann schließlich die Ränder der Falte nach vollendeter Umwachsung zusammenstoßen und verschmelzen und dadurch wird die zweite Hülle vom Ectoderm losgelöst, sie umgibt nun gleichfalls allseitig als eine freie Hülle Embryo und Dotter. Sie wird als Amnion bezeichnet und unterscheidet sich von der Serosa, abgesehen von ihrer Lage, noch durch ihre beträchtlich kleineren Zellelemente. Bei der Geburt der Jungen werden

Digitized by Google

die Embryonalhüllen einfach abgestreift und zurückgelassen.

Typischen Embryonalhüllen begegnen wir dann weiter bei den Insekten (Fig. 59).

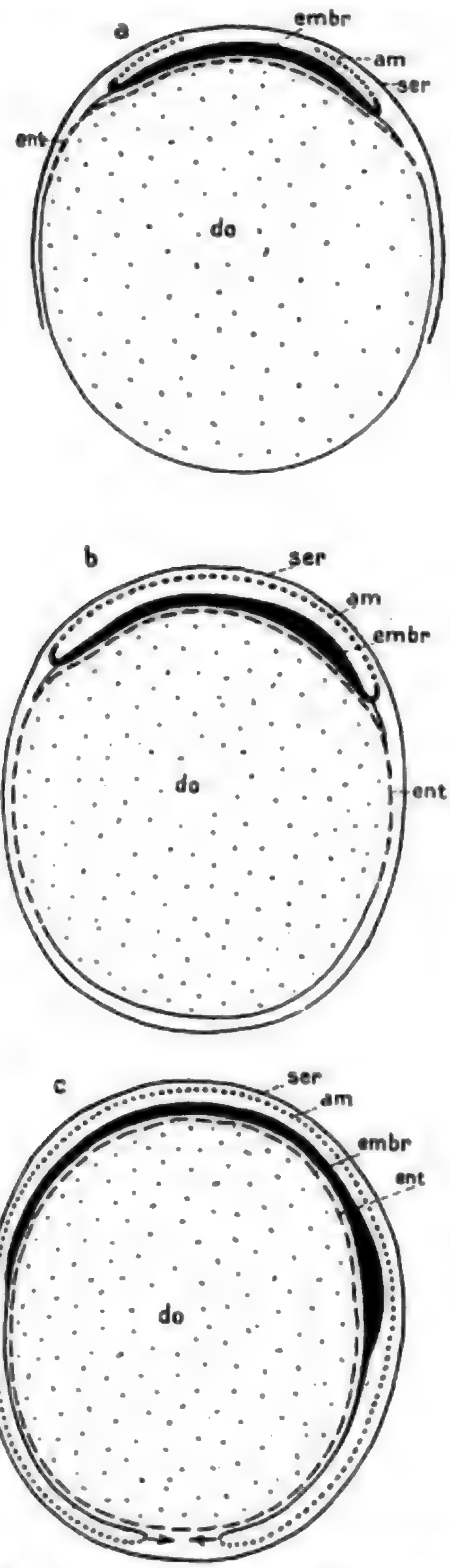


Fig. 58. Ausbildung der Embryonalhüllen des Skorpions. Schematisch entworfen nach Brauer, Zeitschr. wiss. Zool., 57., 59. Bd. 1894/95. In drei aufeinander folgenden Stadien. am Amnion, do Dotter, embr Embryo, ent Entoderm, ser Serosa.

Ihre Bildung geht hier von den Rändern des ventralwärts dem Dotter aufliegenden Keimstreifens aus. Und zwar erheben sich an der gesamten Peripherie desselben, vorn, hinten und an den beiden Seiten, Falten, deren innere Wand mit dem Ectoderm des Keimstreifens, deren äußere mit dem Blastoderm des Dotters in Verbindung steht (Fig. 59a, c). Allenthalben sind die Ränder der Falten nach der Mitte des Keimstreifens hin gerichtet, sie schließen endlich ebenda zusammen, verwachsen miteinander und bewirken so, daß der inzwischen ausgebildete Embryo in eine besondere Höhlung zu liegen kommt, in die Amnionhöhle (Fig. 59b, d). Letztere wird nach außen begrenzt

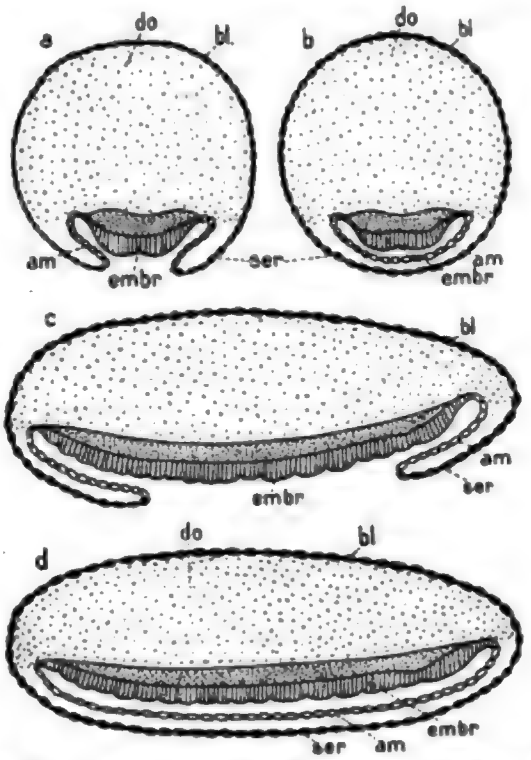


Fig. 59. Ausbildung der Embryonalhüllen eines Insekts. Nach E. Korschelt und K. Heider, Lehrb. vergl. Entwickelungsgesch. Spez. Teil 1892, Fig. 474, 475. In zwei aufeinander folgenden Stadien, a und b im Querschnitt, c und d im Längsschnitt durch das Ei. am Amnion, bl Blastoderm, do Dotter, embr Embryo, ser Serosa.

von zwei Zellschichten, die natürlich den zwei Wänden der ursprünglichen Falten entsprechen, die äußere wird wiederum als Serosa, die innere als Amnion bezeichnet. Beide bestehen aus abgeplatteten Epithelien. Die Serosa geht, in genauem Einklang mit ihrer Entstehungsweise, unmittelbar in das Blastoderm des Dotters über, das Amnion verbindet sich mit dem Ectoderm des Embryos. Zwischen Amnion und Serosa bleibt ein Spaltraum erhalten und dieser letztere erscheint gegen den Dotter hin offen, so daß dessen Elemente ohne Hindernis in den Spaltraum vordringen könnten. Zu-

Digitized by Google

meist unterbleibt dies indessen, die oberflächliche Lage des Embryos auf dem Dotter wird so in keiner Weise modifiziert und man spricht dann von einem superfiziellen Keimstreifen, wie ihn Orthopteren, Hemipteren, Dipteren, Hymenopteren zeigen. Es kann aber auch der Dotter den Raum zwischen Amnion und Serosa ausfüllen, dann schließt eine breite Schicht von Dotter den Embryo von der Oberfläche ab, derselbe erscheint tief in die Dottermasse eingesenkt, wir sprechen jetzt von einem immersen Keimstreifen (Libellen, Schmetterlinge). Auf späteren Stadien beginnt, ähnlich wie bei den Skorpionen, das Ectoderm des Embryos den Dotter dorsalwärts zu umwachsen, die Folge ist, daß die Amnionhöhle mit ihren Rändern ebenfalls in dieser Richtung vorgeschoben wird. Stoßen ihre freien Ränder dann auf der Rückenfläche aneinander und verschmelzen, so bedeutet dies zugleich, wiederum ganz ähnlich wie bei den Skorpionen, ein Freiwerden des Embryos von seinen Hüllen. Allseitig losgelöst liegt er nun in ihrem Innern, bis er sie nach vollendeter Entwickelung durchbricht.

Diesem Typus des überwachsenen Keimstreifens steht ein zweiter gegenüber, den man als den invaginierten bezeichnen kann. Bei ihm wird nicht der Keimstreifen von frei sich erhebenden Amnionfalten überwachsen, sondern es sinkt umgekehrt der Keimstreifen in den Dotter ein. Die Ränder der entstehenden Vertiefung verwachsen miteinander und bringen so ebenfalls eine Amnionhöhle zum Abschluß. Auf weit vorgeschrittener Entwickelungsstufe durchbricht dann der Embryo wieder die Wand der Amnionhöhle, rollt sich nach außen um und nimmt dann erst seine definitive Lagerung auf dem allmählich der Resorption verfallenden Dotter ein.

Eine ganz außerordentlich wichtige Rolle spielen Embryonalhüllen dann endlich bei den höheren Wirbeltieren, bei Reptilien, Vögeln und Säugern, die man deshalb wohl auch als Amniota den niedriger stehenden Fischen und Amphibien, den Anamnia, die solcher Hüllen entbehren, gegenüberstellt. Zum besseren Verständnis müssen wir nochmals auf die Ausbildung des Dottersackes zurückkommen, wie sie sich beispielsweise bei den Fischen in sehr klarer Form darstellt. Wir sahen schon oben, wie dessen Anlage äußerlich sich in der Weise vollzieht, daß der außerhalb des Embryos gelegene Bezirk der Keimscheibe sich stetig über den Dotter vorschiebt und denselben schließlich völlig einschließt. Diese Ueberwachsung erfolgt zunächst nur von dem außerembryonalen Ectoderm, es schließt sich an dieses aber sehr bald das Entoderm an und endlich folgen dieser Bewegung auch die beiden Blätter (parietales und viscerales) der mesodermalen Seitenplatten. Schließlich setzt sich dann der Dottersack allseitig aus den gleichen

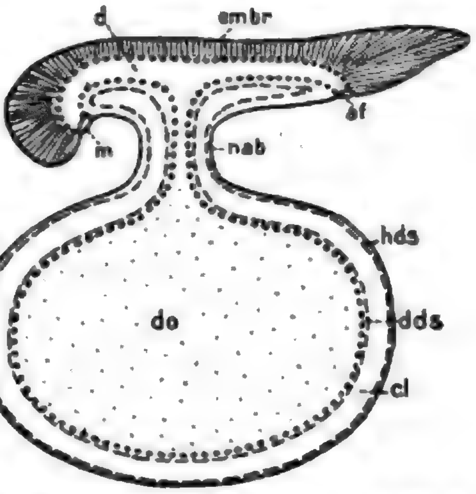


Fig. 60. Schematischer Längsschnitt durch einen Fischembryo zur Erläuterung des Dottersackes. Nach O. Hertwig, Lehrb. der Entwickelungsgesch. des Menschen 1893, Taf. I Fig. 7. af After, cl Cölomhöhle, d Darm, dds Darmdottersack, do Dotter, embr Embryo, hds Hautdottersack, m Mund, nab Nabel. Es ist ferner dargestellt als ausgezogene Linie das Ectoderm, als punktierte Linie das Entoderm, als gestrichelte Linie das Mesoderm.

Körperschichten zusammen wie der Embryo selbst (Fig. 60). Zu äußerst wird er vom Ectoderm überzogen, zu innerst schließen Entodermzellen den eigentlichen Dotter ein, dazwischen liegt die Leibeshöhle der Seitenplatten, außen von dem parietalen, innen von dem visceralen Blatt begrenzt. Es legen sich sodann Ectoderm und parietales Blatt enger zusammen, sie bilden den Hautdottersack, das gleiche gilt von Entoderm und visceralem Blatt, sie stellen den Darmdottersack dar. Die Verbindung des Dottersacks mit dem Embryo ist durch die inzwischen erfolgte Abschnürung des Embryos auf einen dünnen Stiel reduziert, den Nabel, der also embryonalen und außerembryonalen Keimbezirk miteinander verbindet. Im Bereiche dieses Stieles kommunizieren zunächst Darminneres und Dotter miteinander durch den Dottergang, es geht hier ferner der Darmdottersack über in die Darmwandung (Darmnabel), der Hautdottersack in die Bauchwand (Hautnabel).

Bei den Amnioten bildet sich nun zunächst ebenfalls ein Dottersack mit allen eben genannten Teilen aus, er erleidet aber weitere Komplikationen durch das Hinzutreten besonderer Embryonalhüllen. Wir wollen dieselben zuerst bei den Sauropsiden etwas näher betrachten, also etwa bei einem Vogel. Die Bildung der Embryonalhüllen wird eingeleitet durch das Auftreten von Falten, die sich rings um den Embryo vom

Digitized by Google

Hautdottersack erheben (Fig. 61a). Diese Falten wölben sich über dem Embryo empor und verwachsen oberhalb dessen Rückenlinie miteinander (Fig. 61b), wobei die

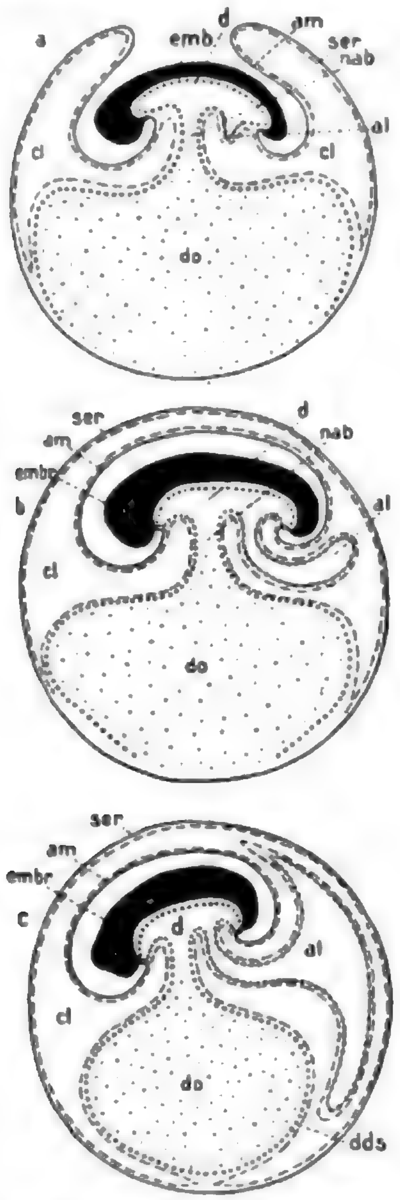


Fig. 61. Ausbildung der Embryonalhüllen des Hühnchens. Entworfen im Anschluß an O. Hertwig, Lehrbuch der Entwickelungsgeschichte des Menschen 1893, Taf. I Fig. 3 bis 5. In drei aufeinander folgenden Stadien im medianen Längsschnitt. al Allantois, am Amnion, cl Cölomhöhle, d Darm, dds Darmdottersack, do Dotter, embr Embryo, nab Nabel, ser Serosa. Es ist ferner dargestellt als ausgezogene Linie das Ectoderm, als punktierte Linie das Entoderm, als gestrichelte Linie das Mesoderm.

Verwachsungsstelle häufig noch lange als sogenannte Amnionnaht erkennbar bleibt. Die Falten sind zunächst außen naturgemäß überzogen vom Ectoderm, in sie hinein erstreckt sich aber weiterhin die sekundäre Leibeshöhle, und wenn sich nun die Ränder der Falten in der Verwachsungslinie begegnen, so verschmelzen dann nicht nur die ectodermalen, sondern auch die mesodermalen Schichten der Falten miteinander. Es gewinnt sodann die äußere mesodermale Schicht nähere Beziehungen zur äußeren Ectodermlage der Falten, die innere mesodermale solche zur inneren Ectodermlage, und so entstehen schließlich zwei doppelschichtige Hüllen übereinander, welche den Embryo einschließen. Die äußere pflegt man als die Serosa, die innere als Amnion zu bezeichnen; die Höhlung, in welcher der Embryo liegt, heißt Amnionhöhle. Das Amnion ist zunächst noch dicht dem Embryo angefügt, hebt sich aber bald unter dem Druck der in der Amnionhöhle sich ansammelnden Amnionflüssigkeit weit ab.

Mit den geschilderten Embryonalhüllen tritt nun noch ein weiteres embryonales Organ in engste Beziehung, die Allantois. Dieselbe geht hervor aus einer kleinen ventralwärts gerichteten Grube des Enddarms (Fig. 61a), die bei ihrer stetig zunehmenden Vorwölbung die Leibeshöhlenwand vor sich her schiebt und schließlich eine langgestielte Blase darstellt (Fig. 61b), deren Wand aus einem inneren auskleidenden Entodermepithel und einem äußeren Ueberzug von mesodermalen Elementen besteht. Bei fortschreitendem Wachstum schiebt sich die Allantoisblase tief zwischen Amnion, Serosa und Dottersack ein und verschmilzt mit den Wandungen derselben (Fig. 61c). Beim Ausschlüpfen des jungen Vogels aus der Eischale werden die Embryonalhüllen sämtlich abgeworfen und bleiben als zusammengeschrumpfte Reste in der Schale zurück.

Was die Funktion dieser Hüllen anlangt, so ist diejenige von Amnion und Serosa zweifellos hauptsächlich die eines Schutzorgans, welches den Embryo vor schädlichen äußeren Einflüssen bewahrt. Dazu ist namentlich die mit Flüssigkeit erfüllte und wie ein Puffer wirkende Amnionblase in hohem Grade geeignet. In ihr vermag der Embryo, unabhängig von äußeren Einflüssen, in gleichmäßig konstanten Druck- und Gleichgewichtsverhältnissen seine Formgestaltung durchzuführen. Die Serosa übernimmt dabei zuweilen, wie beispielsweise beim Chamäleon, zugleich die Rolle eines Ernährungsorgans, insofern an ihr größere Zellen auftreten, die an der Resorption des umgebenden Eiweißes teilnehmen und dabei infolge massenhafter Aufnahme dieser Nährsubstanz sehr beträchtliche Dimensionen annehmen können (Trophoblast). Man könnte in ihnen Vorläufer der Chorionbildungszellen der Säuger erblicken. Die Allantois ist zweifellos ursprünglich ein embryonales Harnreservoir, dazu bestimmt, den vom Embryo abgeschiedenen Harn im Innern anzuhäufen, daneben tritt sie aber

Digitized by Google

späterhin auch noch in den Dienst der Atmung. In der allerersten Embryonalzeit findet wohl eine allgemeine Gewebeatmung statt, später aber wird die Allantois das einzige Atmungsorgan, indem es sich dicht der Serosa anlegt, mit dieser verwächst und in sich zahlreiche Blutgefäße zur Ausbildung bringt. Dieses so gebildete Atmungsorgan liegt dann von innen her dicht der Eischale an, durch deren poröse Wände hindurch der Gasaustausch stattfindet. Erst kurz vor dem Ausschlüpfen gibt die Allantois diese Tätigkeit auf, es tritt dann die Lunge an ihre Stelle.

Bei den Säugetieren erfolgt die erste Anlage der Embryonalhüllen in ganz ähn-

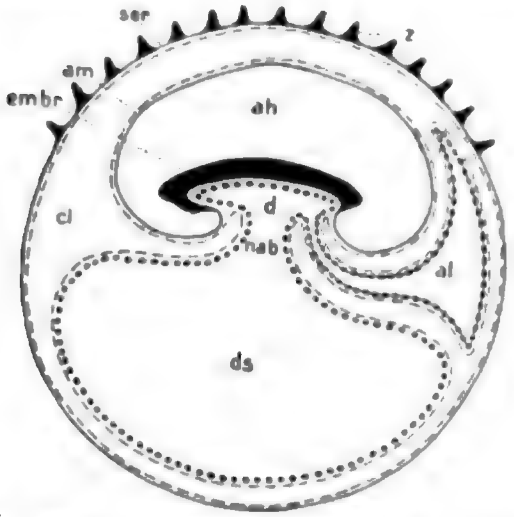


Fig. 62. Schematische Darstellung der Embryonalhüllen eines Säugetiers. Etwas modifiziert nach M. Weber, Die Säugetiere 1904, Fig. 236. ah Amnionhöhle, al Allantois, am Amnion, cl Cölomhöhle, d Darm, ds Dottersack (Nabelblase), embr Embryo, nab Nabel, ser Serosa, z Zotten. Es ist ferner dargestellt als ausgezogene Linie das Ectoderm, als punktierte Linie das Entoderm, als gestrichelte Linie das Mesoderm.

licher Weise wie bei den Reptilien und Vögeln, auch bei ihnen kommt es zur Ausbildung von Dottersack, Amnion, Serosa und Allantois. Wie nebenstehende Figur 62 von einem sehr jungen Säugetierstadium zeigt, liegt der Embryo einem Dottersack auf, letzterer hier freilich zu der von Flüssigkeit erfüllten Nabelblase reduziert; wir sehen Amnion, Serosa und Allantois in ganz entsprechender Weise ausgebildet, aus den gleichen Zellenschichten zusammengesetzt. Wiederum sei darauf hingewiesen, daß eine solche Uebereinstimmung nur bei der Annahme eines früheren Dotterreichtums des Säugetiereies verständlich wird.

Von einem bestimmten Stadium an tritt aber dann die besondere höhere Entwickelungsstufe des Säugers hervor. Der Dottersack oder die Nabelblase erweist sich von nur geringer Bedeutung, sie wächst wohl noch etwas heran, entwickelt auch ein schwaches Gefäßsystem, bleibt aber bald in der Entwickelung zurück und bildet dann ein kleines gestieltes Bläschen (Fig. 63 ds), das nur bei einigen Formen, wie beispielsweise bei Raubtieren, eine größere Ausdehnung gewinnen kann. Das Amnion

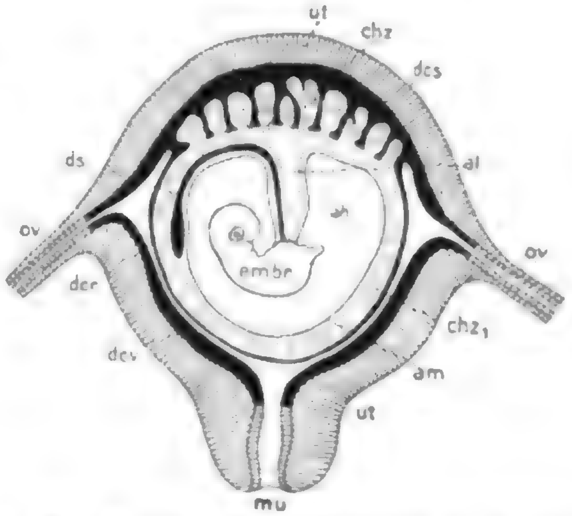


Fig. 63. Schematischer Längsschnitt durch einen schwangeren menschlichen Uterus mit darin liegendem Embryo. Aus O. Hertwig, Lehrbuch der Entwickelungsgeschichte des Menschen 1893 Fig. 159. ah Amnionhöhle, al Allantois, am Amnion, chz Chorionzotten, chz_1 rückgebildete Chorionzotten, dcr Decidua reflexa, dcs Decidua serotina, dcv Decidua vera, ds Dottersack, embr Embryo, mu Uterusmund, ov Oviduct, ut unveränderter Abschnitt der Uteruswand.

umschließt als zarte Haut die weite Amnionhöhle, in welcher der Embryo liegt (Fig. 63am,ah). Die bedeutsamsten und eingreifendsten Veränderungen erleidet die Serosa. Dieselbe hebt sich weit von Dottersack und Amnion ab, bildet auf ihrer Oberfläche zahlreiche kleine Ausstülpungen in Zottenform aus und wird daher nun als Zottenhaut oder Chorion bezeichnet (Fig. 63 chz). Mit ihr in allerengster Verbindung steht die Allantois, die zwar durch einen langen Stiel mit dem Embryo in Verbindung bleibt (Fig. 63 al), sich aber im übrigen mit ihren Blutgefäßen auf der Innenfläche der Serosa ausbreitet, fest mit ihr verschmilzt und überall bis in ihre Zotten hinein eindringt. Und nun kommt ein fundamental neuer Vorgang hinzu. Es tritt das Chorion in enge Beziehung zur Uterusschleimhaut der Mutter und bildet mit dieser zusammen ein Ernährungsorgan für den Embryo, eine sogenannte Placenta, welcher die Aufgabe des verloren gegangenen Dotters, die Ernährung des Embryos, zufällt.

Es fehlt eine solche Placenta nur den niedersten Säugern, den Monotremen und vielen Beuteltieren völlig. Erstere legen ja ihre von einer Schale umschlossenen

Digitized by Google

dotterreichen Eier noch direkt ab, bei letzteren kommt es zumeist nur zu einer dichten Aneinanderlagerung von Serosa und Uterusschleimhaut ohne jegliche Andeutung einer Zottenbildung. Diese Säugetiere wären also als Aplacentalia und als Achoria zu bezeichnen.

Einige wenige Beuteltiere gibt es indessen, bei denen uns bereits die ersten Anfänge einer Placenta entgegentreten. Bei ihnen zeigt die Uteruswand eine starke Verdickung, ihr Epithel verwandelt sich in ein von netzartig angeordneten Capillaren durchsetztes Syncytium, und diesem veränderten Bezirk der Uteruswand legen sich dann in leichten Einsenkungen die Gefäße des Chorions dicht an. Es wird so bereits ein direkter Austausch von Nährsubstanzen zwischen mütterlichen und embryonalen Gefäßen ermöglicht. Bei den höheren Säugern kommt es dann stets zur Ausbildung einer wirklichen Placenta. Und dies dadurch, daß sich in der mütterlichen Uterusschleimhaut tiefe Gruben und Falten ausbilden, in welche die bereits erwähnten Fortsatzbildungen des Chorions eingreifen (Fig. 63). Blutgefäßwandungen von Chorion und Uterus kommen so in engste Berührung miteinander, und der Stoffaustausch zwischen Embryo und mütterlichem Körper vollzieht sich durch die dünnen Gefäßwandungen hindurch in sehr vollkommener Weise.

Eine Einteilung der verschiedenen Placentenformen unterscheidet zunächst zwischen Halbplacenten (Semiplacentae) und Vollplacenten. Bei ersteren ist der Zusammenhang zwischen Chorion und Innenfläche des Uterus noch so locker, daß bei der Geburt die Chorionzotten sich aus den Vertiefungen des Uterus herausziehen können, ohne daß dabei Defekte der Uteruswand entstehen. Es werden dann, nachdem das Junge geboren ist, allein die Embryonalhäute nachträglich als Nachgeburt ausgestoßen. Nach der Verteilung der Zotten auf dem Chorion lassen sich von der Halbplacenta wieder zwei Typen unterscheiden. Entweder sind die Zotten mehr oder weniger unregelmäßig über die ganze Oberfläche des Chorions zerstreut, man spricht dann von einer Semiplacenta diffusa, wie sie beispielsweise bei Schweinen, Kamelen, Tapiren, Flußpferden, Halbaffen vorkommt. Oder aber die Zotten ordnen sich in Gruppen zusammen, welche über die im übrigen glatte Chorionfläche verteilt sind. Solche Zottenbündel pflegt man als Kotyledonen zu bezeichnen, sie fügen sich in entsprechend ausgebildete Falten der Uterusschleimhaut im Bereich der sog. Karunkeln ein (Semiplacenta multiplex oder polycotyledonis). Die Zahl der Kotyledonen ist eine überaus wechselnde, sie beträgt nur 5 bis 6 beim Reh, 60 bis 100 bei Schaf und Rind. Eine solche Placenta kommt, wie schon aus den angeführten Beispielen zu ersehen ist, hauptsächlich bei den Wiederkäuern zur Ausbildung.

Bei der Vollplacenta ist die gegenseitige Durchdringung von Chorionzotten und Uterusfalten eine so starke, daß eine Loslösung beider voneinander bei der Geburt nicht mehr möglich ist. Und die notwendige Abstoßung des Chorions von seiten der Mutter ist dann nur noch auf dem Wege möglich, daß sich die bei der Bildung der Placenta in Mitleidenschaft gezogenen Teile der Uteruswand ebenfalls losreißen, was naturgemäß nur unter starken Blutungen der Mutter stattfinden kann. Man pflegt diesen hinfälligen Teil der Uteruswand als Decidua zu bezeichnen (Fig. 63 dcs + dcr + dcv), sie wird zusammen mit den Embryonalhäuten bei der Nachgeburt nach außen abgestoßen. Auch die Vollplacenta tritt nach der Anordnung ihrer Zotten in zwei Formen auf. Bei der gürtelförmigen Placenta (Placenta zonaria, Fig. 64a) drängen sich die Zotten auf eine mittlere gürtelförmige Zone der meist langgestreckten Embryonalblase zusammen. Die beiden Pole derselben sind dann ganz frei von Zotten und lassen sich ohne weiteres von der Uteruswand abheben, der mittlere Bezirk dagegen ist fest mit ihr verwachsen. Es findet sich diese Form der Placenta in erster Linie bei Raubtieren und Seehunden vor. Die zweite Form der Vollplacenta ist dann die scheibenförmige Placenta (Placenta discoidalis, Fig. 64b), bei welcher die im einzelnen überaus mächtig entwickelten Zotten sich auf einen scheibenförmigen Raum der Chorionfläche beschränken. Wir begegnen ihr bei Nagetieren, In-

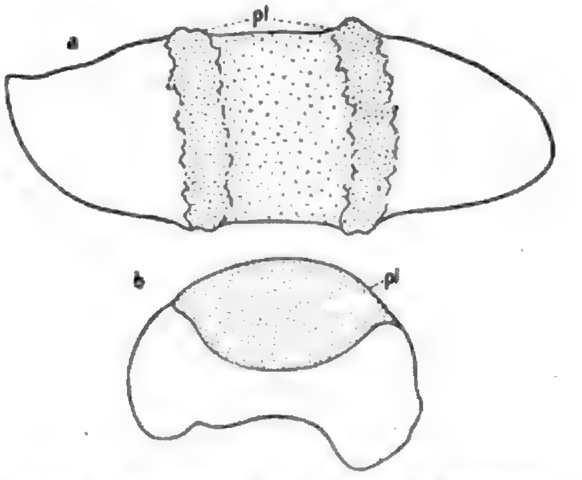


Fig. 64. a Chorionsack mit Placenta zonaria von einer Füchsin; b Chorionsack mit Placenta discoidalis vom Maulwurf. Aus O. Hertwigs Handbuch vergl. Entwickelungslehre der Wirbeltiere 1. Bd. 2. Teil 1906, Fig. 164 und 180. pl Placenta.

Digitized by Google

sektenfressern, Fledermäusen, Affen, beim Menschen.

4. Dritte Entwickelungsperiode: Organbildung. Die Tatsachen der Organbildung sollen hier nur soweit berücksichtigt werden, als ihnen eine allgemeinere Bedeutung für das Verständnis des Aufbaues eines Organismus zukommt. Am einfachsten läßt sich dabei ein Ueberblick über die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen dann gewinnen, wenn wir die Organe nach ihrer Herkunft aus den oben aufgestellten Gruppen von Primitivanlagen betrachten, also als ectodermale, entodermale und mesodermale Organe.

4a) Organe ectodermaler Herkunft. Hierher gehören zunächst sämtliche Bildungen, die im Zusammenhange mit der äußeren Körperbedeckung stehen, also vor allem das den Körper gegen die Außenwelt abschließende äußere Körperepithel. Dasselbe geht unmittelbar aus der ectodermalen Keimschicht des Embryos hervor, erhält sich in sehr vielen Fällen bei wirbellosen Tieren als eine solche einfache Epithellage, kann sich aber auch hochgradig weiter komplizieren. Letzteres am stärksten wohl bei den Wirbeltieren, wo das Epithel zunächst mehrschichtig wird und dann in seinen äußeren Lagen einem eigenartigen Verhärtungsprozeß, der Verhornung, unterliegt. Auf diese Weise wird eine sehr viel widerstandsfähigere äußere Hornschicht (Stratum corneum) über einer inneren weich bleibenden Schleimschicht (Stratum Malpighi) geschaffen. Bei den Wirbellosen geht die Bildung einer festeren Schutzhülle vielfach auf einem anderen Wege vor sich, und zwar dadurch, daß das einfache Epithel an sich unverändert erhalten bleibt, daß aber von diesem die Abscheidung einer härteren, mit ihm nicht mehr in organischem Zusammenhang stehenden Substanz erfolgt. Diese Substanzschicht besteht zunächst aus einer einfachen Cuticula, wird aber dann bei den Arthropoden zu der festen Chitindecke, die durch eingelagerte Kalksalze häufig noch eine ganz besondere Härte erlangen kann. Und solche Kalksalze, die nachträglich einem organischen Produkte des Körperepithels, einem Schalenoberhäutchen oder Periostracum, aufgelagert werden, bauen auch die harte Kalkschale der Schnecken und Muscheln auf. In wieder einer anderen Form erfolgt die Ausbildung einer schützenden äußeren Körperhülle bei den Tunicaten, wo es zur Differenzierung eines zellulosehaltigen Gallertmantels kommt. Selbstverständlich ist es, daß auch alle der Haut aufsitzenden oder in ihr gelegenen Bildungen, wie Borsten, Krallen, Nägel, Hufe, Hornschuppen, Federn, Haare und Drüsen unmittelbar dem Ectoderm ihre Entstehung verdanken. Kompliziertere Bildungsvorgänge werden hierbei bei den Wirbeltieren nur insofern hervorgerufen, als sich mit dem ectodermalen äußeren Integument mesodermale Elemente bindegewebiger Natur (in ihrer Gesamtheit als Lederhaut oder Corium bezeichnet) innig verbinden, und dieses letztere dann gleichfalls tätigen Anteil an der Herausbildung solcher Organe nimmt. Es entstehen so die verknöcherten Hautgebilde des Wirbeltierkörpers, also die Fischschuppen, die Knochenplatten, die Zähne.

Ein zweites rein ectodermales Organsystem stellt das Nervensystem dar. Bei den Coelenteraten geht es unmittelbar aus der innersten Lage der Ectodermzellen, aus den interstitiellen Zellen hervor. Bei den Würmern und Gliedertieren stellt seine wesentlichste Anlage eine längsverlaufende Ectodermverdickung der Ventralseite des Embryos dar, bei den Mollusken entsteht es aus ectodermalen Einfaltungen und Zellwucherungen, die sich zu Ganglien zusammenschließen. Bei den Wirbeltieren endlich erfolgt seine Bildung unter Vermittelung von Medullarplatte und Medullarrohr, deren Einfaltung und Abschnürung vom Ectoderm schon oben bei der Darstellung der Gestaltsbildung wiederholt besprochen wurde (vgl. besonders Fig. 23). Es entsteht zunächst ein gleichmäßiges Rohr, das dann späterhin in seinem vorderen Bezirk eine Erweiterung ausbildet, aus welcher das Gehirn hervorgeht, während der hintere lang ausgedehnte Abschnitt das Rückenmark liefert. Die Entwickelung der peripheren Nerven geht aus von seitlichen Zellwucherungen des Medullarrohres, von der sogenannten Ganglienleiste.

Drittens sind dann Derivate des Ectoderms sämtliche Sinnesorgane. In ihrer einfachsten Form treten solche als Sinneszellen auf, welche nichts weiter als spezialisierte Ectodermzellen sind, als solche ihre Lage im Ectoderm beibehalten und nur entsprechend ihrer besonderen Spezialisierung mit einer Nervenfaser sich verbinden (Tastzellen, Zellen eines allgemeinen chemischen Sinnes, spezifische Geschmacks- und Riechzellen). Zu wirklichen Organen, zu Geruchsorganen, schließen sich letztere besonders bei Wirbeltieren zusammen. Hier sind es plattenförmige Epithelverdickungen, sogenannte Placoden, die sich zu grubenförmigen Vertiefungen einsenken und dann im Innern unter mannigfachen Faltenbildungen ein mehr oder weniger kompliziertes Riechorgan liefern.

Die Gehörorgane, welche vielfach zugleich Organe eines statischen Sinnes sind, bilden sich zumeist aus einer Einstülpung des Ectoderms. Bei den Wirbellosen schnürt sich diese Einstülpung zu einem von Wimper-

Digitized by Google

haaren im Innern ausgekleideten Bläschen ab, worauf mit der Abscheidung von Kalkkörperchen (Otolithen, Statolithen) die Entwickelung vollendet ist. Bei den Wirbeltieren dagegen geht aus dem einfachen embryonalen Gehörbläschen ein hochkompliziertes Organ mit zahlreichen Differenzierungen (Utriculus mit den halbkreisförmigen Kanälen, Sacculus mit der Schnecke) hervor, das dann zudem noch benachbarte Organ- und Gewebskomplexe an sich heranzieht, und mit ihnen zu einem einheitlich funktionierenden Organ verschmilzt.

Weiter sind dann auch die Sehorgane stets aus ectodermalen Elementen ableitbar. In ihrer einfachsten Form bilden sie lichtempfindliche Pigmentzellen, die ihre Lage im Ectoderm unverändert beibehalten und hier sogar besondere lichtbrechende Hilfsapparate entwickeln können. An eine derart primitive Organisationsstufe lassen sich unmittelbar die Punktaugen oder Ocellen der Gliedertiere anschließen, die eine napfförmige Vertiefung von Ectodermzellen darstellen, aber weitere Differenzierungen in der Ausbildung einer besonderen lichtempfindlichen Retina sowie einer lichtbrechenden Linse aufweisen. Aus verdickten Hypodermisplatten gehen dann ferner auch die viel komplizierter gebauten, zusammengesetzten Facettenaugen der Gliedertiere hervor, wogegen die Augen der Weichtiere sich aus abgeschnürten Ectodermbläschen herausbilden. Und ganz den gleichen Bildungsmodus weist auch das Wirbeltierauge auf. Nur geht die Abschnürung der Augenblasen hier nicht unmittelbar vom Ectoderm aus, sondern von Bezirken desselben, die zusammen mit der Gehirnanlage bereits in die Tiefe verlagert wurden. Es erscheinen demgemäß die Anlagen der Augenblasen als seitliche Ausbuchtungen des Gehirns, bleiben mit demselben auch durch eine stielartige Bildung in Verbindung. Die Augenblase liefert unter becherförmiger Einstülpung ihrer Außenwand Retina, Ciliarkörper und Iris. Im übrigen entstehen ferner Gefäßhaut (Chorioidea) und Sclera aus Mesenchymzellen, die sich von außen dem Augenbecher auflegen; die Bestandteile des Glaskörpers aus bindegewebigen Elementen; die Linse aus einer besonderen Ectodermverdickung, die sich als Bläschen abschnürt. Der Sehnerv geht aus Ausläufern der Retinazellen hervor.

Als Derivate des Ectoderms müssen ferner die **Atmungsorgane vieler wirbelloser Tiere** gelten. Bei den Kiemen der wasseratmenden Formen handelt es sich dabei zumeist um sack- oder schlauchförmige Ausstülpungen der äußeren Körperhaut, die topographisch an den allerverschiedensten Stellen des Körpers gelegen sein können (Würmer, Arthropoden), und besonders bei den Weichtieren in papillen- oder lamellenförmigen Bildungen eine hochkomplizierte Struktur annehmen können. Aber auch die inneren Atmungsorgane der luftatmenden Gliedertiere leiten sich vom Ectoderm ab, so die Lungen der Skorpione und Spinnen, so die Tracheen der Tausendfüßer und Insekten, welche aus paarigen, segmental angeordneten Ectodermeinstülpungen hervorgehen.

Und endlich ist noch eine besondere Form von Exkretionsorganen, wenigstens nach den Ergebnissen fast aller neueren Untersuchungen, vom Ectoderm ableitbar, nämlich die **larvalen Urnieren** der Ringelwürmer, der Weichtiere und der Phoroniden.

4b) **Organe entodermaler Herkunft.** Hierher zu rechnen ist vor allem der **Darmkanal.** Und zwar ist es im besonderen der eigentliche verdauende und resorbierende Abschnitt desselben, welcher dem Entoderm seinen Ursprung verdankt. Zumeist freilich verbinden sich damit zur Vervollständigung des ganzen Darmtraktus noch zwei ectodermale Einstülpungen, eine vordere, welche als Stomodäum den Vorderdarm liefert, und eine hintere, welche als Proctodäum aus sich den Enddarm hervorgehen läßt (Fig. 65). Diese drei Abschnitte treten im einzelnen in den mannigfachsten

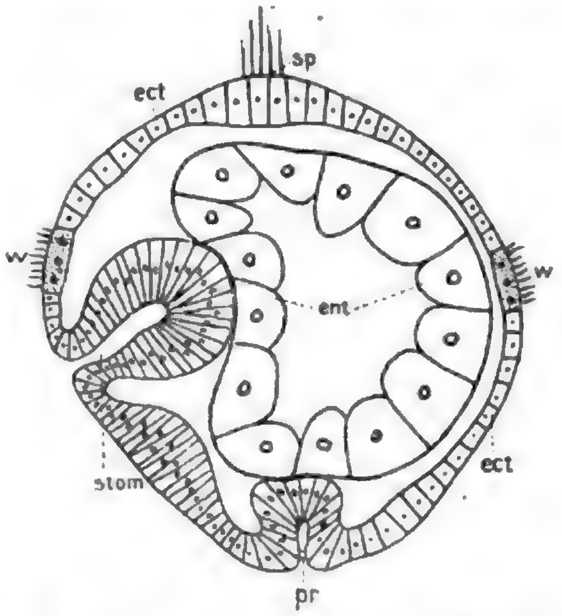


Fig. 65. Medianer Längsschnitt durch eine Trochophoralarve zur Demonstration der Darmanlagen. Nach J. Meisenheimer, Entwickelungsgeschichte der Tiere 1908, II. Bd. Fig. 12. ect Ectoderm, ent Entoderm, pr Proctodaeum, stom Stomodaeum, sp Scheitelplatte, w Wimperreifen.

Kombinationen auf. Häufig fehlt die eine oder die andere Anlage ganz und wird dann durch Teile der übrigen vertreten und er-

Digitized by Google

setzt, wie es namentlich für die ectodermalen Abschnitte Geltung hat. Seltener wird auch das Entoderm stärker zurückgedrängt, wie es besonders bei gewissen Insekten der Fall ist.

Entodermaler Natur sind dann, wie sich schon aus ihrer Lage erschließen läßt, auch die großen Verdauungsdrüsen, besonders die mannigfachen Leberbildungen, die unmittelbar aus Ausstülpungen des entodermalen Abschnittes hervorgehen.

Entodermalen Ursprungs sind endlich die Atmungsorgane der Wirbeltiere. Zunächst die Kiemenbildungen der Fische und Amphibien, welche an nach außen durchbrechenden Spalten der entodermalen Schlundwandung, an den sogenannten Kiemenspalten, sich anlegen und als fadenförmige, gefiederte oder blattartige Bildungen auftreten. Weiter aber sind entodermalen Ursprungs auch die Lungenorgane der luftatmenden Wirbeltiere, die aus paarigen Ausstülpungen der ventralen Wand des vorderen Darmabschnittes hervorgehen.

4c) Organe mesodermaler Herkunft. Hier wären wohl an erster Stelle zu nennen die mannigfachen Binde- und Stützsubstanzen im Innern des tierischen Körpers. Ihre spezifischsten Primitivanlagen bilden zunächst die embryonalen Mesenchymzellen, weiter dann Elemente der Urmesodermstreifen und endlich auch Abschnitte des Cöloms. Während bei den erstgenannten Primitivanlagen die Umbildung in die betreffenden Gewebe eine mehr oder weniger unmittelbare ist, erfolgt ihre Differenzierung aus cölomatischen Abschnitten entweder durch Auswanderung der Bildungszellen aus der Cölomwand oder durch selbständiges Herauslösen ganzer Komplexe aus dem Verbande des Cöloms, womit dann eine teilweise oder völlige Auflösung des letzteren verbunden sein kann. Solches gilt beispielsweise für die Gliedertiere und zum Teil auch für die Wirbeltiere. Es treten hier zwar Stellen bindegewebiger Anlagen an den mannigfachsten Orten der Urwirbel und Seitenplatten auf (Fig. 66), eine spezifische Bildungsstätte mesenchymatösen Gewebes stellen aber die Sklerotomdivertikel (Fig. 66) dar, welche an der Grenze von Urwirbeln und Seitenplatten auftreten und medianwärts einwuchernd das Material liefern, aus welchem später die knöcherne Wirbelsäule hervorgeht.

Ein spezifisch mesodermales Gewebe stellt ferner die Muskulatur dar. Zum Teil verdankt sie ihren Ursprung wiederum unmittelbar Elementen der Urmesodermstreifen, weit häufiger aber geht sie aus Teilen des Cöloms hervor. So ist es bei den Ringelwürmern, wo die Muskelzellen direkt aus umgewandelten Elementen des Cölomepithels hervorgehen, so ist es bei den Myriopoden und Insekten, wo umfangreiche Abschnitte der Cölomwand sich in Muskelpartien verwandeln, so ist es bei Sagitta, wo

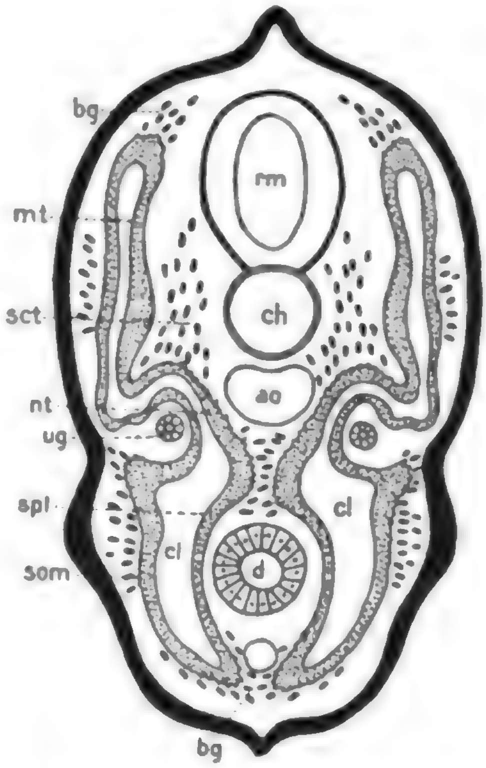


Fig. 66. Schematisierter Querschnitt durch einen Haifischembryo zur Demonstration der Cölomverhältnisse. Nach H. E. Ziegler, Lehrbuch vergl. Entwickelungsgeschichte der niederen Wirbeltiere 1902, Fig. 112. ao Aorta, bg Bindegewebsanlagen, ch Chorda, cl Cölom, mt Myotom, nt Nephrotom, rm Rückenmark, sct Sklerotom, som somatisches Blatt, spl splanchnisches Blatt, ug Urnierengang.

der größte Teil der Cölomwandungen zu Körpermuskulatur wird. Bei den Wirbeltieren ist es fast ausschließlich der obere Abschnitt der Urwirbel, das sogenannte Myotom (Fig. 66), dem die Körpermuskulatur ihren Ursprung verdankt.

Weiter könnte in diesem Zusammenhang auch das Cölom selbst als ein besonderes Organ des Körpers angeführt werden, da es sich ja vielfach (bei Würmern und Wirbeltieren beispielsweise) als eine von einem regelmäßigen Epithel ausgekleidete Leibeshöhle erhält. Es gibt keinen entwickelungsgeschichtlichen Begriff, über dessen Deutung die Ansichten der Forscher divergenter sich entgegenstehen, als gerade hier bei dem Cölom. Hervorgehen kann es bald aus Urmesodermzellen und Urmesodermstreifen, bald aus mehr oder weniger scharf begrenzten Wucherungszonen der äußeren Keimschicht, bald aus Urdarmdivertikeln. Hinsichtlich seiner phylogenetischen Ableitung stehen

Digitized by Google

sich drei Theorien gegenüber. Die Enterocöltheorie führt die sekundäre Leibeshöhle auf ursprüngliche Urdarmdivertikel zurück, die Gonocöltheorie faßt sie als die ursprüngliche Genitalhöhle auf und bringt sie in Zusammenhang mit den Gonadensäcken niederer Würmer, die Nephrocöltheorie endlich läßt die sekundäre Leibeshöhle aus einem ursprünglichen Exkretionsorgan hervorgehen. Allgemeine Anerkennung hat keine dieser Theorien gefunden.

Auch das Blutgefäßsystem verdankt seine Entstehung mesodermalen Elementen, geht es doch in seiner ursprünglichsten Form aus Lückenräumen, die zwischen den Mesenchymzellen des Körpers gelegen sind, hervor. Indem letztere sich dann in geschlossenem Verbande um diese Räume herumlegen, entstehen abgegrenzte Gefäße, und unmittelbar in dieser Form erfolgt ihre Ausbildung tatsächlich vielfach bei Würmern, Gliedertieren und Weichtieren. Innerhalb dieses gleichmäßigen Gefäßsystems erhalten einzelne Stellen eine durch eingelagerte Muskelfasern verstärkte Wandung, sie bilden die erste Anlage besonderer pulsatorischer Organe, welche als Herzen die in den Gefäßen enthaltene Blutflüssigkeit in zirkulierende Bewegung setzen und darin erhalten. Zumeist ist aber die Ausbildung solcher Herzen bei den höher organisierten Tieren mit mancherlei Komplikationen verbunden. So geht der Herzschlauch bei Skorpionen und Spinnen aus den dorsalwärts über dem Darm miteinander verwachsenden Zipfeln der beiderseitigen Cölomsäckchen hervor, und auch bei den Insekten sind es Elemente der Cölomwandung, die sogenannten Cardioblasten, welche die besondere Herzanlage darstellen. Bei den Wirbeltieren sind es paarige, präzise lokalisierte, Anhäufungen von Mesenchymzellen, welche den Herzschlauch liefern. Daneben kommen dann freilich auch Fälle vor, wo das Herz einen durchaus andersartigen Ursprung hat. So leitet sich dasselbe zusammen mit dem umschließenden Pericard bei Schnekken und Muscheln von einer besonderen, unmittelbar vom Ectoderm sich loslösenden Primitivanlage ab, bei den Ascidien dagegen von einer zum Bläschen sich abschnürenden Verdickung des Entoderms.

Besonders ausgeprägte Gefäßanlagen treten uns schließlich bei den Wirbeltieren entgegen, und zwar in Form besonderer Zellenstreifen und -haufen, die man als „Blutinseln“ bezeichnet, und die wohl hauptsächlich mesodermaler, z. T. aber, wie es scheint, auch entodermaler Natur sind.

Von Exkretionsorganen haben wir die larvalen Urnieren bereits als ectodermale Bildungen kennen gelernt. Einer vom Ectoderm sich abspaltenden Primitivanlage verdankt dann auch die Niere der Muscheln und Schnecken ihre Entstehung, ektodermaler Natur sind endlich auch die Malpighischen Gefäße der Insekten, insofern sie aus Ausstülpungen der ectodermalen Enddarmanlage, des Proctodäums, hervorgehen. Im übrigen stehen die Exkretionsorgane zumeist in engem genetischem Zusammenhang mit dem Cölom. So die Segmentalorgane der Ringelwürmer, die direkt aus Verdickungen des Cölomepithels sich ableiten, zum mindesten mit ihrem inneren, den Wimpertrichter enthaltenden Abschnitt. Und aus Ausstülpungen der Cölomwand gehen dann auch die entsprechenden, aber höher spezialisierten Organe der Spinnentiere (Coxaldrüsen) hervor, während Schalen- und Antennendrüse der Krebse zum wenigsten sehr wahrscheinlich ebenfalls mesodermaler Natur sind. Bei den Wirbeltieren liegt die Bildungsstätte der Harnorgane in einem bestimmten Bezirk der Cölomsäckchen, und zwar in dem Verbindungsgang, der zwischen Myotom und Seitenplatten sich einschiebt und als Nephrotom bezeichnet wird (Fig. 66). Es wandeln sich diese Verbindungsgänge, die entsprechend der segmentalen Aufeinanderfolge der Cölomsäckchen in größerer Anzahl hintereinander angeordnet sind, unmittelbar in Nierenkanälchen um. Dieselben bleiben mit der sekundären Leibeshöhle der Seitenplatten durch eine trichterförmige Erweiterung in Verbindung, lösen sich dagegen vom Myotom völlig los, bilden mit ihren freien Enden einen gemeinsamen Sammelgang und entwickeln in der Nähe des Trichters je einen Malpighischen Körper. Und in dieser Form schließen sie sich dann in der mannigfachsten Weise zu größeren einheitlichen Komplexen zusammen, zu Nieren. Von solchen Komplexen folgen bei den Wirbeltieren räumlich wie zeitlich im ganzen drei als Differenzierungen eines ursprünglich einheitlichen Organes aufeinander. Zuerst tritt die Vorniere (Pronephros) auf, an sie schließt sich die Urniere (Mesonephros) an und auf diese folgt endlich die bei den höheren Wirbeltieren allein funktionierende Nachniere (Metanephros).

Wenn wir von den Geschlechtsdrüsen absehen, als deren Bildner wir bereits die Urgeschlechtszellen kennen gelernt haben, so verdankt im übrigen der größte Teil des Geschlechtsapparats ebenfalls mesodermalen Elementen seinen Ursprung. So verbinden sich schon mit den Geschlechtszellen vielfach andere Elemente, besonders der Cölomwandungen, zur Ausbildung der Geschlechtsdrüse in ihrer definitiven Form als Hoden oder Ovarien. Besonders aber sind es die Geschlechtsausführgänge, welche häufig direkt aus den Cölomwandungen sich ableiten, so vor allem bei Arthropoden und

Digitized by Google

Wirbeltieren. Bei letzteren entsteht der weibliche Eileiter als sogenannter Müllerscher Gang zumeist durch unmittelbare Abspaltung vom Leibeshöhlenepithel, wogegen im männlichen Geschlecht der Urnierengang die Ableitung der Geschlechtsprodukte übernimmt. Die an die inneren Geschlechtsgänge der Wirbeltiere sich anschließenden Begattungsorgane sind dagegen besondere Differenzierungen des Kloakenraumes und seiner Nachbargebiete.

Literatur. **F. M. Balfour,** *Handbuch der vergleichenden Embryologie, Jena 1881.* — **M. Duval,** *Atlas d'Embryologie. Paris 1889.* — **E. Haeckel,** *Die Gastraea-Theorie, die phylogenetische Klassifikation des Tierreichs und die Homologie der Keimblätter. Jen. Zeitschr. 8. Bd., 1874.* — **O. Hertwig,** *Lehrbuch der Entwickelungsgeschichte des Menschen und der Wirbeltiere, Jena.* — **Derselbe,** *Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwickelungslehre der Wirbeltiere. Jena 1906. (Enthält Verzeichnisse der gesamten Wirbeltier-Literatur).* — **Oskar und Richard Hertwig,** *Die Coelomtheorie. Jena 1881.* — **A. A. W. Hubrecht,** *Die Säugetierontogenese in ihrer Bedeutung für die Phylogenie der Wirbeltiere. Jena 1909.* — **F. Keibel,** *Normentafeln zur Entwickelungsgeschichte der Wirbeltiere. Jena 1897 bis 1911.* — **J. Kollmann,** *Handatlas der Entwickelungsgeschichte des Menschen, Jena 1907.* — **E. Korschelt und K. Heider,** *Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der wirbellosen Tiere. Spezieller Teil. Jena 1890 bis 1893. Allgemeiner Teil. Jena 1902 bis 1910. (Enthält die vollständigen Literaturverzeichnisse für die wirbellosen Tiere).* — **A. M. Marshall,** *Vertebrate Embryology. London 1893.* — **J. Meisenheimer,** *Entwickelungsgeschichte der Tiere. (Sammlung Göschen). Leipzig 1908.* — **Ch. S. Minot,** *Lehrbuch der Entwickelungsgeschichte des Menschen. Leipzig 1894.* — **E. Ray Lankester,** *Notes on the embryology and classification of the animal kingdom. Quart. Journ. vol. XVII, 1877.* — **K. B. Reichert,** *Beiträge zur Kenntnis des Zustandes der heutigen Entwickelungsgeschichte. Berlin 1843.* — **L. Roule,** *L'Embryologie comparée, Paris 1894.* — **M. Weber,** *Die Säugetiere, Jena 1904.* — **R. Wiedersheim,** *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere, Jena.* — **H. E. Ziegler,** *Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der niederen Wirbeltiere, Jena 1902.*

Johannes Meisenheimer.

Onychophora.

1. Morphologie. 2. Entwicklungsgeschichte. 3. Lebensweise. 4. Systematik. 5. Verbreitung.

1. Morphologie. Die Onychophoren oder Protracheaten sind eine artenarme Gruppe tiefstehender Arthropoden, die wirtschaftlich ohne Bedeutung sind. Eine eingehendere Besprechung an dieser Stelle ist jedoch erforderlich, da sie in mancher Beziehung eine Zwischenstufe zwischen den Anneliden und den Arthropoden darstellen.

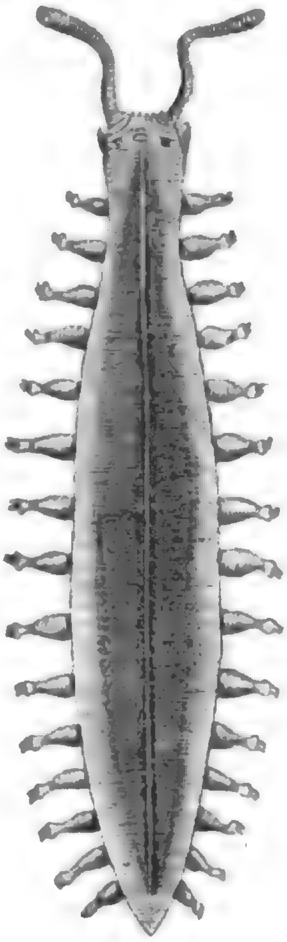


Fig. 1. Peripatus Zealandiae. Nach Sedgwick.

Die Gestalt der Onychophoren erinnert stark an gewisse Anneliden z. B. Hesione. Ihr Körper ist langgestreckt, der Rücken gewölbt, die Bauchseite abgeflacht. Vorn ist ihr Körper nur wenig verschmälert, mehr dagegen das Hinterende, das stumpf-kegelförmig endet. Das Vorderende wird durch den Kopf gebildet, der vorn ein Paar Antennen trägt. Zwischen diesen und den ersten Beinpaaren liegen ein Paar Oralpapillen. Die Zahl der Beinpaare ist nicht fixiert: sie schwankt von 14 bis 42 und zwar trägt mit Ausnahme der drei Kopfsegmente jedes der untereinander gleichen Segmente ein Paar. Auch ist das Beinpaar des letzten Leibessegments zuweilen verkümmert. Der Mund liegt am Vorderende, das After am Hinterende der Ventralseite, kurz vor dem After die Geschlechtsöffnung. Die Haut ist quergeringelt, so jedoch, daß jedem Leibessegment eine größere oder kleinere Zahl von Hautringeln entsprechen.

Gleichartige Hautfalten umgeben die Extremitäten, haben an diesen aber nichts

Digitized by Google

mit wahrer Gliederung zu tun. Ueber die Haut zerstreut liegen zahlreiche Papillen. Sie erscheinen in der Gestalt von umfangreicheren Hauptpapillen und kleinen akzessorischen Papillen, die sämtlich von einer Unzahl kleiner Schuppen bedeckt und auf ihrer Spitze mit einem Stachel versehen sind, der bei den Hauptpapillen zuweilen auf einem von der Basis deutlich gesonderten, kugelförmigen Endteil steht. Die Papillen fehlen in der Mittellinie des Rückens, die dadurch völlig glatt erscheint. Glatte Hautstellen ohne Schuppenbildung auf der Ventralseite zeigen rechts und links der Mittellinie die Lage der „hellen" Organe Bouviers an, während die Ventral- und Präventralorgane Grübchen mit modifizierten Schuppen zwischen je zwei Beinpaaren in der Mediane der Ventralseite sind. Die gesamte Haut mit Ausnahme der Mund- und Geschlechtsöffnung und der hellen Organe ist pigmentiert.

Der Kopf ist vom Rumpf nicht abgesetzt und trägt 3 Paar modifizierter Extremitäten. Das erste Segment trägt ein Paar Antennen, das zweite die Kiefer, das dritte die Oralpapillen. Die Antennen sind nicht segmentiert, dagegen von zweierlei Hautfalten umgeben: breiten Falten, die mit Papillen und Haaren bedeckt sind, und dazwischen schmalen, die oft glatt sind. Jede Antenne endet mit einem halbkegelförmigen, stacheltragenden Stück, dem einige breite Falten vorausgehen. Die Augen sind einfache Blasenaugen von derselben Entwickelung wie bei den Anneliden und Mollusken und das ist um so mehr zu beachten, da Peripatus die einzige Form unter den Arthropoden ist, welche solche Augen besitzt. Das Auge ist von mehreren Hautringfalten mit Papillen umgeben.

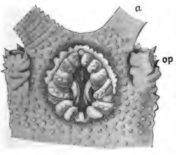


Fig. 2. Peripatus Edwardsii. Kopf von der Unterseite. a Basalteile der Antennen, op Oralpapillen. Man sieht die den Eingang zur Mundhöhle umstellenden Papillen und in der Mundhöhle die Kiefer. Nach Sedgwick.

Das Mundatrium wird von einer Anzahl von Hautlappen gebildet, welche als Lippen funktionieren. Im Mundatrium liegt das zu Mandibeln umgebildete postantennale Gliedmaßenpaar. Jede Mandibel besteht aus zwei Lappen, einem äußeren und einem inneren, deren Spitzen nach hinten gerichtet sind. Jeder Lappen der Mandibeln besitzt am Ende einen starken Hauptzahn, dem eine ganze Reihe kleinerer Zähne voraufgeht, die entweder eine zusammenhängende Säge bilden oder in Gruppen eingeteilt sind. Meist folgen an der Basis des Hauptzahns zwei größere Zähne, die sogenannten akzessorischen Zähne, darauf ein Zwischenraum, das Diastema, und dann eine zusammenhängende Reihe kleinster Zähnchen, die Denticuli. Das zweite Paar postantennaler Gliedmaßen sind die Oralpapillen. Sie können eingestülpt werden und tragen auf ihrer Spitze die weite Oeffnung einer Schleimdrüse, aus denen die Tiere, wenn sie gereizt werden, mit großer Kraft und Schnelligkeit zähe Fäden entleeren.

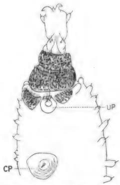


Fig. 3. Bein des 4. Paares von Peripatoides orientalis Fl. ♂. von der Unterseite. Nach Bouvier, vereinfacht. UP Mündung der Nephridie, CP Schenkelpapille.

Alle übrigen Gliedmaßen sind als Füße ausgebildet, welche wahrer Gliederung entbehren (Archipodien), jedoch Krallen tragen und dem Körper seitlich ansitzen, wo die gewölbte Rücken- in die Bauchseite umbiegt. Stets setzen sie sich aus zwei Teilen zusammen, dem größeren proximalen, konischen Bein und dem viel kleineren, schmächtigen distalen Fuß. Das Bein erscheint als stumpfer Kegel, dessen breite Basis am Körper ansitzt und der von Falten umgeben ist. Der Fuß beginnt dagegen mit einem schmalen Stiel, verbreitert sich dann und endet mit zwei,

Digitized by Google

durch eigene Muskeln beweglichen Klauen. Charakteristisch und darum für die Systematik der Onychophoren von Bedeutung ist die Stellung einiger Hauptpapillen, welche am Grunde der Klauen stehen. In der Mitte der Ventralseite des Beines liegt eine Furche mit schwächeren Papillen, die auch ganz fehlen können. Dort liegt der Eingang zu den Coxaldrüsen. Die terminale Partie der Ventralseite ist zu einer Sohle umgestaltet, welche für die Lokomotion eine große Rolle spielt. Sie wird von mehreren (3 bis 6) enganeinanderliegenden Hautfalten gebildet, welche mit zahlreichen starken Haaren besetzt sind.

Auf der Ventralseite des Körpers am Ende der Coxalfurche der Beine sieht man einen kleinen Exkretionsporus, welcher die Mündung eines Nephridialorgans darstellt. An der Basis der Füße des Genitalsegments werden die Exkretionspori ersetzt durch die unpaare Genitalöffnung. Beim 4. und 5. Beinpaar liegen die Exkretionspori auf den Fußsohlen auf der Spitze eines Höckers. Ferner liegen auf den Fußsohlen, besonders bei einer gewissen Anzahl von Füßen vor dem Genitalsegment, Drüsenporen, die meist auf das männliche Geschlecht beschränkt sind und auf farblosen Vorsprüngen, sogenannten Schenkelpapillen, münden. Sie sind oft auf jedem Fuß in Zweizahl vorhanden.

Die Haut ist überall von einer Chitincuticula bedeckt, die zwar dehnungsfähig, aber doch der Häutung unterworfen ist. Ausgeschieden wird sie von der Epidermis, unter welcher noch eine subepidermale Hautschicht liegt. Die Epidermis besteht aus einer einfachen Schicht polyedrischer Zellen, die subepidermale Schicht aus Bindegewebe. Allein von allen Arthropoden besitzen die Onychophoren einen kontinuierlichen, ziemlich dicken Muskelschlauch, der die Leibeshöhle umgibt und sich aus folgenden Schichten zusammensetzt: 1. eine Ringmuskelschicht, 2. eine doppelte Schicht sich kreuzender Diagonalfasern, 3. eine aus verschiedenen Bündeln bestehende, mächtige Längsfaserschicht. Dazu kommen noch transversale Muskeln, von denen ein Teil so angeordnet ist, daß die Leibeshöhle in eine mediane und zwei laterale Kammern geteilt wird. Die erste enthält Schleimdrüsen, Herz, Verdauungs- und Geschlechtsorgane, die seitlichen die Nervenstämme und Segmentalorgane. Die Leibeshöhle erstreckt sich durch die ganze Länge des Körpers, wird jedoch, wie bei den Arthropoden, durch ein transversales Septum in zwei dorsal übereinander gelagerte Abschnitte geteilt. Davon dient die obere, die relativ klein ist, als Perikardialsinus, während die viel größere untere alle anderen Organe beherbergt. Sämtliche Muskelfasern sind glatt, nur die Fasern der Kiefermuskulatur quergestreift.

Die beiden Etagen der Leibeshöhle werden durch Oeffnungen des Perikardialseptums in Verbindung gesetzt, welche auch die Zirkulation der Leibeshöhlenflüssigkeit gestatten, welche die Rolle des Blutes spielt. Das kontraktile Rückengefäß oder Herz ist mit segmental angeordneten, paarigen, durch Klappen verschließbaren Ostien versehen. An seiner dorsalen Wand verläuft ein medianer Längsnerv. Als Atmungsorgane besitzen die Onychophoren die sonst für die Tracheaten charakteristischen und nur bei diesen vorkommenden Tracheen. Es sind dies außerordentlich lange, dünne Fäden, welche von in die Haut eingesenkten Tracheentaschen ausgehen und sich durch den ganzen Körper verzweigen. Die Tracheentaschen sind nach Ziegler offenbar durch Einstülpung der Epidermis entstanden. Sie durchsetzen die Subepidermalschicht und enden in der äußeren Schicht der Muskulatur. Von dem unteren, etwas erweiterten Teil gehen die feinen Tracheen bündelförmig ab, verlaufen in Bündeln zwischen den Muskelfasern, verteilen sich dann an den Organen und dringen sogar in das Innere der großen Nervenstämme ein. Die Eingangs-

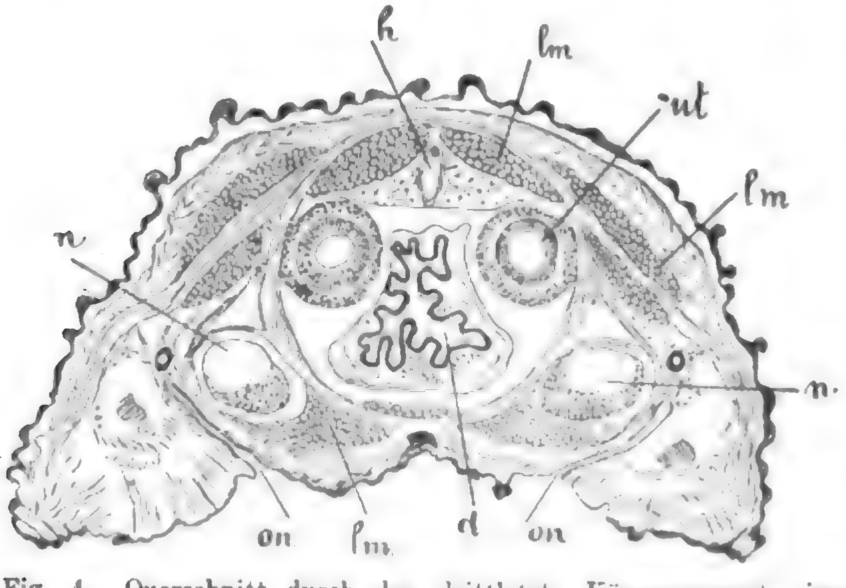


Fig. 4. Querschnitt durch das drittletzte Körpersegment eines weiblichen Peripatus Edwardsii. Nach Gaffron. n Längsstämme des Nervensystems, h Herz (kontraktiles Rückengefäß), lm Längsmuskeln, ut Uterus, d Darm, on äußere Oeffnung der Nephridien.

öffnungen der Tracheen, die Tracheentaschen oder Stigmata, sind entweder in großer Zahl regellos über die ganze Körperoberfläche verteilt oder es zeigt wenigstens ein Teil von ihnen eine bestimmte Anordnung. So ist z. B. bei Peripatus capensis jederseits auf der Rücken- und Bauchseite eine doppelte Längsreihe von Stigmata vorhanden, deren Zahl jedoch beträchtlich größer ist als die der Segmente. Auch die Coxaldrüsen sollen nach Bouvier der Respiration dienen und zwar sollen sie als Kiemen wirken.

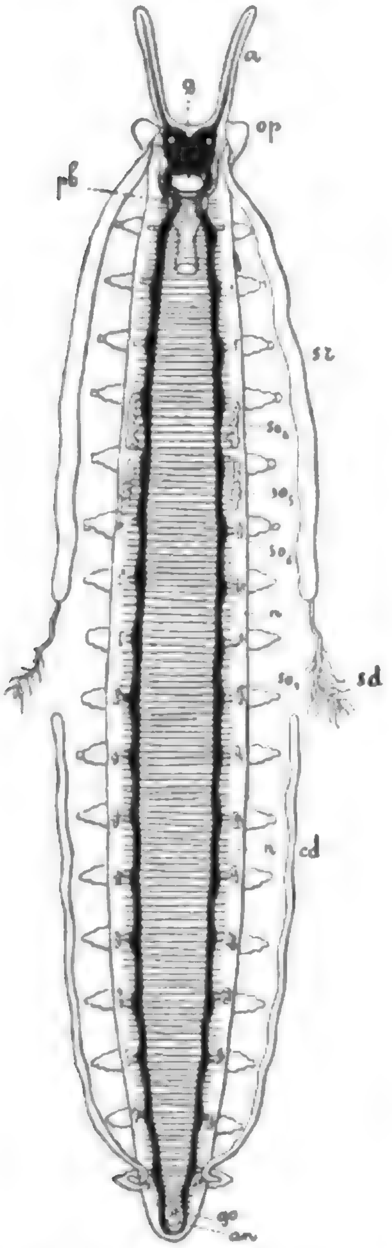


Fig. 5. Anatomie von Peripatus capensis. Nach Balfour. Der Darmkanal ist hinter dem Pharynx abgeschnitten und entfernt. g Gehirn, a Antenne, op Oral- oder Schleimpapille, sd Schleimdrüse, sr deren zugleich als Ausführungsgang dienendes Schleimreservoir, so_4, so_5, so_6, so_9 Nephridien, und zwar des 4., 5., 6. und 9. Paares, cd verlängerte Coxaldrüse des letzten Fußpaares, go Geschlechtsöffnung, an After, ph Pharynx, n Längsstamm des Nervensystems.

Das Nervensystem beginnt über dem Pharynx mit einem Paar großer Oberschlundganglien, dem Gehirn, die mit einem Teil ihrer Innenseite verwachsen sind und sich nach hinten in je einen Nervenstrang fortsetzen. Die Längsnervenstämme verlaufen ventral weit voneinander getrennt in seitlichen Abteilungen der Leibeshöhle bis zum Hinterende des Körpers. Dort vereinigen sie sich oberhalb vom Rektum durch ein Stück ohne Ganglienzellenbelag. Zwischen den beiden Stämmen verlaufen zahlreiche Querkommissuren, von denen eine größere Anzahl auf jedes Segment entfällt. Die Längsnervenstämme haben einen kontinuierlichen Belag von Ganglienzellen und zeigen segmentale schwache Abschwellungen. Von den Oberschlundganglien entspringen der Sehnerv und der Antennalnerv, ferner die Nerven für die Lippen und die Muskulatur der Mandibeln. Die Innervation für die Oralpapillen entspringt in Form je eines dicken Nervenstranges auf der Außenseite des Bauchstranges, nicht weit von der Unterschlundkommissur. Jedes Oberschlundganglion zeigt auf seiner Unterseite eine kegelförmige Hervorragung, deren Bedeutung noch unbekannt ist (Bouviers Sphérules infra-cervicales).

Der Verdauungskanal, welcher innen mit Wimpern versehen ist, verläuft ziemlich geradlinig durch den Körper. Er beginnt hinter dem Mundatrium mit einem Pharynx mit sehr muskulöser Wand, die durch zahlreiche Muskeln mit der benachbarten Körperwand verbunden ist. Auf ihn folgt ein kurzer, weiter Oesophagus, dessen Wandung aus einer äußeren Längs- und einer inneren Ringmuskelschicht besteht. Der Magen erstreckt sich von der Gegend des zweiten Beinpaares bis zum hintersten Körperende. Seine Wand ist gefaltet und hat nur eine dünne äußere Ring- und innere Längsmuskelschicht. Zum Schluß folgt ein weites kurzes Rektum, das mit dem Anus endet und durch Mesenterialbänder an die benachbarte Körperwand angeheftet ist. Ein Endothel überzieht sowohl die Außenwand des Darmkanals wie die der anderen in der Leibeshöhle liegenden oder an sie grenzenden Organe.

Die Exkretionsorgane sind nach Bau und Anordnung den typischen Annelidennephridien gleich. Jedes besteht normalerweise aus folgenden Teilen: 1. der Mündung, der von der Oberfläche des Körpers als Gang nach dem 2. Teil, der Endblase, führt, die im Basalteil der Beine liegt, 3. einem verschlungenen Nephridienkanal, der 4. mit einem Trichter mit sehr dicker Wandung sich in die Leibeshöhle öffnet und zwar in eine stark reduzierte Coelomtasche. Nach den Körperenden hin werden die Nephridien immer einfacher und sie bestehen im ein-

Digitized by Google

fachsten Falle nur noch aus dem Ausführgang, dem Endtrichter und der Coelomtasche. Sie sind dann so kurz, daß sie vollkommen im Basalteil der Beine liegen. Dagegen

Fig. 6. Ein Nephridium von Peripatus Edwardsii. Nach Gaffron. tr Trichter, sg Schleifenkanal oder Nephridialgang, eb Endblase des Nephridiums.

sind die Nephridien des 4. und 5. Beinpaares besonders gut ausgebildet. Bei ihnen ist der Nephridienkanal sehr lang und in viele Schlingen gelegt. Sehr stark umgeformt sind die Nephridien der Oralpapillen. Ontogenetisch ist der Nachweis geliefert, daß aus ihnen die Speicheldrüsen geworden sind. Jede stellt eine lange Röhre dar, welche den größten Teil des Lateralsinus der Leibeshöhle einnimmt und über dem Nervenstrang liegt. Nach dem Ende zu werden sie schmäler und enden in der Hinterwand des Mundatriums in einem kurzen, weiten, unpaaren Ausführgang. Nahe ihrer Umbiegung in den gemeinsamem Ausführgang besitzt jede Speicheldrüse einen blindsackartigen Anhang, der zuweilen ein geräumiges Reservoir bildet. Umgewandelte Nephridien sind ferner die zwei Analdrüsen, welche in dem extremitätenlosen Aftersegment liegen und die Geschlechtsorgane. Als Nephridien des Kiefersegments werden zwei blind endende Kanäle gedeutet, die in der Nähe der Kieferbasis in das Mundatrium münden.

Bei beiden Geschlechtern sind Schenkeldrüsen und Schleimdrüsen vorhanden. Die Coxal-Drüsen sind an allen Fußpaaren, mit einziger Ausnahme des ersten vorhanden und bestehen stets aus einem im Lateralsinus der Leibeshöhle gelegenen Sack und seinem Ausführgang. Beim letzten Fußpaar des Männchens sind die Coxaldrüsen außerordentlich verlängert und erstrecken sich nach vorn etwa bis zur Körpermitte. Sie fehlen manchmal (z. B. P. Edwardsii) dem Weibchen. Die Schleimdrüsen, welche auf den Oralpapillen münden, sind umgewandelte Schenkeldrüsen und zählen zu den umfangreichsten Organen der Onychophoren. Jede der Schleimdrüsen besteht aus einem umfangreichen Reservoir und aus einem reichverzweigten exkretorischen Teil. Die Verzweigungen des exkretorischen Teiles reichen bis in das hinterste Körperende und umspinnen die meisten anderen Organe.

Die Geschlechter sind bei den Onychophoren getrennt, die Geschlechtsorgane sind paarig und nehmen meist den hinteren Teil der Leibeshöhle ein. Stets greifen sie gegen das Ende ihres Verlaufes unter die Längsnervenstämme und ebenso ständig vereinigen sie sich schließlich zu einem unpaarigen medianen Ausführgang, der kurz vor dem After nach außen mündet. An den männlichen Geschlechtsorganen sind stets folgende Teile zu unterscheiden: 1. ein Paar langer schlauchförmiger Hoden, in denen die Spermatozoenmutterzellen gebildet werden, 2. ein Paar Samenblasen, in denen die Bildung der Spermatiden erfolgt, 3. ein Paar Vasa efferentia, die die Spermatozoen enthalten, 4. einen unpaaren Ausführgang, der meist sehr lang und in zwei Abschnitte differenziert ist: a) das Vas deferens, in

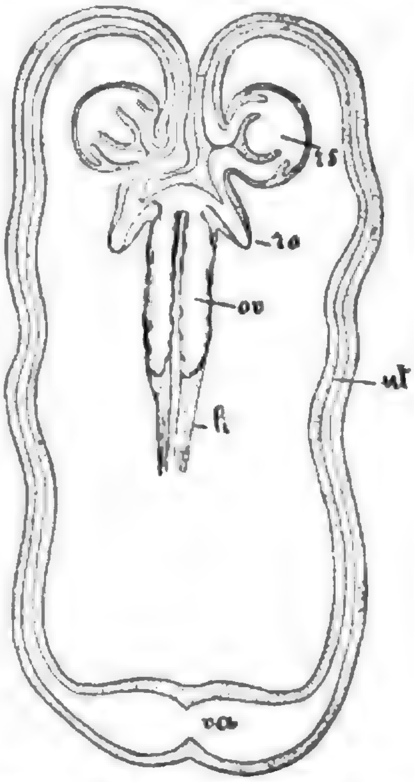


Fig. 7. Weibliche Geschlechtsorgane eines älteren Embryo von Peripatus Edwardsii. Nach Gaffron. li Ovarialligament, ov Ovarium, ro Trichterteil des Recaptaculum ovorum, rs Receptaculum seminis, ut Uterus, va Vagina.

Digitized by Google

welchem die Spermatophoren gebildet werden und b) den Teil der das Ausstoßen der Spermatophoren bewirkt, den Ductus ejaculatorius. Als Anhangsgebilde finden sich stets die modifizierten Nephridien des letzten Segments, die Analdrüsem und oft eine Anzahl von Cruraldrüsen. Die Analdrüsen münden bald dorsal, bald ventral, entweder gemeinsam oder getrennt.

Die weiblichen Geschlechtsorgane bestehen aus 1. zwei Ovarien, in denen die Bildung der Eier erfolgt, 2. zwei Ovidukten, die sich meist in zwei lange Uteri umbilden und in denen sich dann der Embryo entwickelt, 3. einer kurzen, unpaaren Vagina. Die Ovarien sind schlauchförmig und werden für gewöhnlich von einer gemeinsamen Hülle umschlossen. Oft sind sie durch Bindegewebe oder ein Funikulum an die Perikardwand angeheftet. Beide Ovarien münden stets in ein gemeinsames Atrium. Eine Ausnahme hiervon macht nur Peripatus Tholloni, bei welchem die Sexualapparate der beiden Körperseiten gänzlich unabhängig voneinander verlaufen. Am Anfang jedes Oviduktes befindet sich für gewöhnlich ein ovales Receptaculum seminis. Zwischen Atrium und Receptaculum seminis bildet häufig der Ovidukt ein weiteres Divertikel, das Receptaculum ovuli. Als Anhangsbildungen finden sich nur Cruraldrüsen.

Die Spermatogenese verläuft sehr ähnlich derjenigen der Insekten, jedoch ist nach Montgomery kein Chromatinnucleolus vorhanden.

Die Spermatozoen sind beweglich, etwa 125 μ lang, wovon ein reichliches Drittel auf den Kopf, der Rest auf Mittelstück und Schwanz entfallen. Sie sind fast immer in Spermatophoren mit kompliziert gebauter Wandung eingeschlossen, deren Form und Größe sehr variiert. Der Vorgang der Begattung, die nur ein einziges Mal vollzogen werden dürfte, ist noch nicht beobachtet worden. Man findet die Spermatozoen in großer Zahl im Receptaculum seminis, und falls dieses fehlt, im Ovidukt. Der Befruchtungsvorgang muß sich also hier oder im Ovar abspielen.

Die Eier bilden sich in der Wand des Ovariums und sind zunächst von einem kleinen Follikel umgeben. Nach Erlangung einer gewissen Größe verlassen sie den Follikel und treten ins Innere des Ovars ein. Von dort gelangen sie in den Ovidukt, in welchem ihr weiteres Wachstum bis zur Befruchtung und beginnender Furchung sich abwickelt. Unter den Eiern, die noch in der Ovarialwand sitzen, unterscheidet Willey endogene und exogene Eier. Es hängt diese Art der Bildung von der Größe der Eier ab. Wenn ihr Durchmesser 40 bis 60 μ nicht überschreitet, so bleiben sie als endogene Eier in der Ovarienwand eingeschlossen bis zum Moment ihrer Loslösung. Sind sie dagegen größer, so treten sie über die Ovarienwand heraus und werden dann als exogene Eier bezeichnet und die Ovarien sehen dann wie kleine Trauben aus. Sie erreichen im äußersten Falle eine Größe bis zu 1,7 mm. Sie sind nährstoffreich und mit einer starken Hülle umgeben, während die endogenen Eier nur aus Kern und Plasma ohne Dotter und einer dünnen Hülle bestehen. Die Formen, welche kleine Eier besitzen, sind stets vivipar.

Die Onychophoren sind teils lebendiggebärend, teils eierlegend. Wenn die Eier sehr klein sind, wie bei den viviparen Formen, ist die Furchung eine totale, sonst eine superficielle. Bei totaler Furchung entstehen Mund und After unabhängig vom Blastoporus, während bei superfizieller Furchung und epibolischer Gastrula der Blastoporus Mund und After liefert. Bei den oviparen Formen erfolgt die Ernährung direkt aus den Nährstoffreserven des Eies. Bei den viviparen Formen sind verschiedene Fälle zu unterscheiden:

1. das Ei enthält Nährstoffreserven und wird direkt von diesen und durch Uterussekrete ernährt,
2. bei mittelgroßen Eiern erfolgt die Aufnahme der Uterussekrete durch ein besonderes Organ des Embryos, eine Nackenblase,
3. bei kleinen Eiern sind die Embryonen durch eine placentaartige Bildung mit der Uteruswand verbunden. Abgesehen von der Verbindung mit der Uteruswand ist die Placenta der Nackenblase sehr ähnlich. Wie diese verschwindet sie mit dem fortschreitenden Wachstum des Embryos.

2. Entwickelungsgeschichte. Trotz dieser Unterschiede ist eine auffallende Aehnlichkeit der Embryonalentwickelung aller Onychophoren festzustellen. Die älteren Embryonen liegen in einem geschlossenen, vom Uterusepithel gebildeten Sack. Der Uterus wächst in dem Abschnitt hinter dem Receptaculum seminis ständig fort. Dadurch werden die Embryonen der Vagina immer näher gebracht. Die letzte Kammer wird dagegen ständig verkürzt und rückgebildet und verschwindet nach Uebertritt des Embryos in die Vagina ganz.

In der Ventralmediane des Blastoporus wird der Mesodermstreif angelegt, der mehr und mehr in die Länge wächst und von dem von vorn nach hinten eine Folge von Segmenten sich abschnürt. Hand in Hand damit geht die äußere Segmentation und die Bildung der Extremitäten. Es entstehen am

Digitized by Google

1. Segment die Antennen,
2. Segment die Mandibeln,
3. Segment die Oralpapillen.
4. bis x. Segment die Beine.

Von den Tatsachen der inneren Entwickelung sind die folgenden als beachtenswert hervorzuheben:

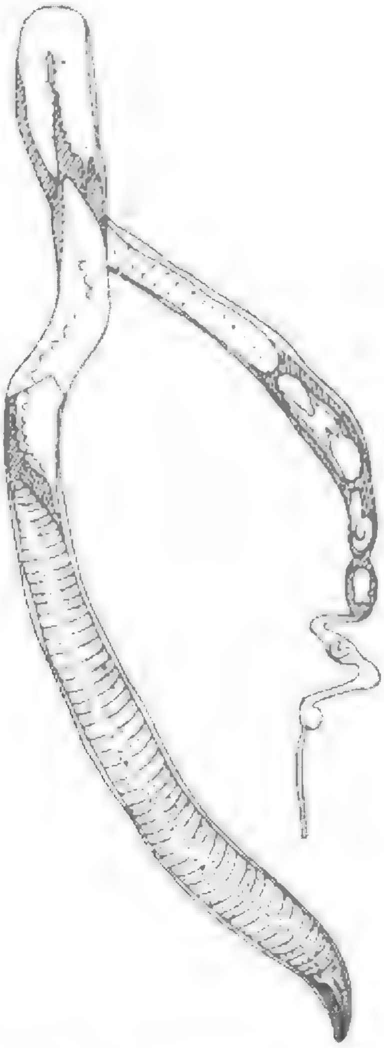


Fig. 8. Uterus von Peripatus mit Embryonen in verschiedenen Stadien. Nach Bouvier, verändert.

1. Das Intestinum wird lediglich vom primären Entoderm geliefert. Dagegen sind Mundatrium, Pharynx, Oesophagus, Enddarm und Anus ektodermale Bildungen.

2. Das Nervensystem entsteht aus zwei ventralen vom Ektoderm abgeschnürten Strängen.

3. Ektodermalen Ursprungs sind ferner die Crural- und Schleimdrüse, sowie die Tracheen.

4. Aus dem Mesoderm gehen die Trichter der Segmentalorgane hervor, ferner Pericard, Endothel, Herz, Muskulatur. Die Endblase und wahrscheinlich der ganze Nephridialgang entstehen dagegen aus einer ectodermalen Einstülpung.

5. Speicheldrüsen, Analdrüsen und Geschlechtsorgane sind den Nephridien homolog.

3. Lebensweise. Man findet die Onychophoren an dunklen und feuchten Orten, unter faulem Holz, abgefallenem Laub, Kadavern usw. Sie führen ein nächtliches räuberisches Leben und nähren sich von kleinen Insekten.

4. Systematische Stellung und Klassifikation. Während manche älteren Forscher wie Blainville die Onychophoren mit den Mollusken in Verbindung bringen wollten, erkannten andere, wie Milne-Edwards, schon früh ihre sonderbare Mittelstellung zwischen den Anneliden und den Arthropoden. Nachdem Moseley 1874 die bedeutsame Entdeckung der Tracheen bei den Onychophoren gemacht hat, sind die meisten Forscher darin einig, in den Onychophoren sehr primitive Arthropoden zu erblicken, die noch einige Organisationseigentümlichkeiten der Anneliden bewahrt haben. Widerspruch gegen diese Ansicht haben in neuester Zeit nur R. Hesse, Handlirsch und Carpenter erhoben. Der erstere sieht in den Tracheen nur eine in Anpassung an das Landleben erworbene Konvergenz, während Handlirsch in den Onychophoren nur einen sehr jungen Seitenzweig der Anneliden erblickt, der keine phylogenetischen Beziehungen zu den Arthropoden hat. Carpenter dagegen hält die Aehnlichkeit mit den Anneliden für rein äußerlich und leugnet jede nähere phylogenetische Beziehung der Onychophoren zu ihnen. Sedgwick hat folgende bedeutsame Gründe für die Zugehörigkeit der Onychophoren zu den Arthropoden geltend gemacht:

1. die Anwesenheit von zu Mandibeln umgestalteten Extremitäten;
2. von paarigen, lateralen Ostien am Rückengefäß;
3. die Entwickelung der Leibeshöhle und des Perikards;
4. die starke Reduktion des Coeloms beim erwachsenen Tier;
5. die Tracheen, welche bei keiner anderen Gruppe des Tierreichs als den Arthropoden vorhanden sind.

Dagegen sprechen für nähere Verwandtschaft mit den Anneliden (Ray Lankester, Sedgwick):

1. die dünne Cuticularbildung;
2. die nicht fixierte Zahl der Segmente;
3. der Bau der Augen;
4. das Fehlen quergestreifter Muskelfasern;
5. die Segmentalorgane.

Schließlich weicht das Nervensystem der Onychophoren in seinem Bau von der für Anneliden und Arthropoden gemeinsam

Digitized by Google

charakterischen Form ab, ähnelt dagegen dem Strickleiternervensystem gewisser Mollusken, Plathelminten und Nemertinen. Unter den Arthropoden besitzen ein ähnliches Nervensystem nur die Phyllopoden (Crustaceen). Nach allem dürfte kein Zweifel sein, daß die Onychophoren wichtige Organisationsmerkmale der beiden Klassen der Anneliden und Arthropoden in eigenartiger Weise vereinigen und so ein wertvolles Beweisstück für die Annahme der Abstammung der Arthropoden von annelidenartigen Vorfahren darstellen. Ob man nun für die Systematik ihre Anneliden- oder ihre Arthropoden-Eigenschaften höher bewerten und sie zu dieser oder jener Gruppe stellen will, ist ziemlich belanglos. Wenn hier die Onychophoren zu den Arthropoden gerechnet werden, so wird der Hauptwert gelegt auf den Besitz der Mandibeln, der frei beweglichen Beine und der Tracheen, sowie auf den Bau der Nephridien und Geschlechtsorgane, welche im Gegensatz zu den Anneliden gegen die Leibeshöhle geschlossen sind. Dennoch bleibt zwischen den Onychophoren und den übrigen Arthropoden eine weite Kluft. Die oft zitierte Entwickelungsreihe Onychophoren—Myriopoden—Insekten entbehrt jeder näheren Begründung. (Vgl. den Artikel „Arthropoda“ in Bd. I, S. 547, besonders S. 553 den systematischen Ueberblick.)

Für die Klassifikation der Onychophoren ist das System von Bouvier hier im Abriß dargestellt:

I. Familie Peripatidae. Die Geschlechtsöffnung liegt zwischen den Füßen des vorletzten Paares. Inneres Blatt der Mandibeln mit Diastema und Zähnchenreihe.

1. Gattung. Peripatus Pocock. Sehr kleine endogene Eier, Placentabildung.

2. Gattung. Eoperipatus Evans. Große, dotterreiche exogene Eier, direkte Entwickelung.

3. Gattung Peripatoides Pocock. Sehr große dotterreiche Eier, vivipar, Weibchen ohne Legeröhre (oviscapte).

II. Familie. Peripatopsidae. Die Geschlechtsöffnung liegt zwischen den Füßen des letzten Paars oder hinter den Füßen. Inneres Blatt der Mandibeln ohne Diastema und Zähnchenreihe.

4. Gattung. Ooperipatus Dendy. Receptaculum seminis gut entwickelt, ovipar, Weibchen mit Legeröhre.

5. Gattung. Opisthopatus Purcell. Receptaculum seminis rudimentär, kleine Eier, fast dotterlos.

6. Gattung. Paraperipatus Willey. Geschlechtsöffnung hinter den Beinen. Gut entwickeltes Receptaculum seminis. Embryonen mit Nackenblase.

7. Gattung. Peripatopsis Pocock. Geschlechtsöffnung zwischen den hintersten Füßen, die verkümmert sind. Exogene Eier mittlerer Größe. Entwickelung mit Nackenblase oder direkt.

5. **Verbreitung.** Die Verbreitung der Gattungen ist die folgende:

Tropisches Afrika — Peripatus, Opisthopatus, Peripatopsis.

Tropisches Amerika — Peripatus. Chile — Opisthopatus.

Indo-malayischer Archipel — Eoperipatus.

Australien — Peripatoides, Ooperipatus, Paraperipatus.

Literatur. *In erster Linie sind die Arbeiten von* **Bouvier** *zu nennen vor allem: Monographie des Onychophores. Annales des Sciences Naturelles [9], Vol. 2, 3, 1905 und 1906.* — *Ferner:* **H. N. Moseley,** *On the Structure and Development of Peripatus capensis. Philosophical Transactions 1874.* — **E. Gaffron,** *Beiträge der Anatomie und Histologie von Peripatus. Zool. Beitr. v. Schneider. I. 1883 bis 1885.* — **A. Sedgwick,** *A Monograph of the Development of Peripatus capensis. Quart. J. Micr. sc. 1888.* — **R. Evans,** *On two new species of Onychophora from the Siamese Malay States. Quart. J. Micr. sc. 1901 bis 1902.* — **Thos. H. Montgomery jr.** *The spermatogenesis of Peripatus (Peripatopsis) balfouri up to the Formation of the Spermatid. Zool. Jahrb., Abt. Anat., 14. (1901).* — **George H. Carpenter,** *On the Relationships between the classes of the Arthropoda. Proc. Roy. Irish Academy, 24. 1902 bis 1904.* — **Arthur Dendy,** *On the oviparous species of Onychophora. Quart. Journ. Microsc. Sc. 1902.*

F. Zacher.

Oolithe

Pisolithe, Erbsensteine sind drehrunde bis elliptische, auch walzenförmige, konzentrischschalige und radialfaserige (Sphärolithe) Gebilde von kohlensaurem Kalk entweder in Form von Kalkspat oder von Aragonit. Sie enthalten vielfach einen Kern von Gasen (Bläschen) oder Sand oder Muschelstückchen usw. (vgl. die Artikel „Sphärolithe“ und „Karbonatgesteine“).

Oppel
Albert.

Als Sohn eines Professors an der landwirtschaftlichen Hochschule am 19. Dezember 1831 zu Hohenheim (Württemberg) geboren, besuchte Oppel später die polytechnische Schule in Stuttgart und bezog im Jahre 1851 die Universität Tübingen, um sich dem Studium der Naturwissenschaften zu widmen. Dort lehrte Quenstedt, der in ihm einen eifrigen und fähigen Schüler fand. 1852 löste Oppel die Preisfrage

„Ueber den mittleren Lias Schwabens", eine Arbeit, die ihm 1853 auch die Doktorwürde eintrug. 1854 und 1855 bereiste er England, Frankreich, die Schweiz und Deutschland, um die jurassischen Ablagerungen dieser Länder zu studieren und sie mit denen seiner engeren Heimat zu vergleichen. 1858 wurde er Adjunkt an der paläontologischen Sammlung in München, wo er sich zugleich habilitierte. 1860 erhielt er die Ernennung zum außerordentlichen Professor. Im nächsten Jahr übertrug man ihm die Stelle eines Konservators und ordentlichen Professors der Paläontologie. Bereits 1865 starb er am 22. Dezember an typhösem Fieber.

Sein Lebenswerk ist die genaue Durchforschung und Vergleichung der Juraformationen in den verschiedenen Ländern Mitteleuropas. Seine Abhandlung: Die Juraformation Frankreichs, Englands und des südwestlichen Deutschland (1856 bis 1858) ist von hervorragender, wissenschaftlicher Bedeutung. Wegen dieser bahnbrechenden Arbeit erhielt er vom König von Württemberg die goldene Medaille für Wissenschaft. Von seinen sonstigen Arbeiten ist besonders wichtig die gemeinschaftlich mit E. Suess gemachte Entdeckung der Gleichaltrigkeit der Fauna der Kloakenschicht Schwabens mit der der Kössener Schichten in den Alpen, die für die Altersbestimmung der alpinen Trias von ausschlaggebender Bedeutung war. Weiter schied er in den Alpen und einigen anderen Gebieten die oberjurassischen Schichten, die eine besondere Cephalopodenfauna aufwiesen, als tithonische Stufe ab und stellte sie als selbständige Einheit zwischen die Kimmeridge- und Neocomstufe.

Literatur. *v. Hochstetter, Zur Erinnerung an Dr. A. Oppel. Jahrb. d. geol. Reichsanstalt. Wien 1866.* — *v. Kurr, Nekrolog. Württemberg. naturwissensch. Jahresh., 1867, 26.*

O. Marschall.

Optische Achsen

werden in den doppeltbrechenden Kristallen diejenigen Richtungen genannt, in denen Doppelbrechung nicht stattfindet. Es gibt einachsige und zweiachsige Kristalle (vgl. den Artikel „Kristalloptik").

Optische Instrumente.

1. Zweck und Einteilung der optischen Instrumente. 2. Photographische Objektive 3. Projektionsapparate. 4. Das einfache Mikroskop (Lupe). 5. Apparate mit Okular (Zusammengesetztes Miskrokop und astronomisches Fernrohr). 6. Galileisches Fernrohr (Opernglas. Prismenfernrohre. Feldstecher). 7. Experimentelle Bestimmung der Vergrößerung, des Sehfeldes und der Leistung des Fernrohrs. 8. Geschichtliches.

1. Zweck und Einteilung der optischen Instrumente. Da durch keine noch so sinnreiche Anordnung optischer Systeme von einem flächenhaften Objekte ein Bild entsteht, welches heller als das mit bloßem Auge betrachtete Objekt ist (vgl. den Artikel „Abbildungslehre"), so kann der Zweck der optischen Instrumente nur darin bestehen, von den Objekten Bilder in geeigneter Entfernung oder passender Vergrößerung zu entwerfen, ohne daß wesentliche Verluste an Helligkeit für das bewaffnete Auge auftreten. Nur bei Betrachtung punktförmiger Gebilde (Fixsterne) kann die Helligkeit des durch das Instrument gesehenen Objektpunktes größer als diejenige des mit bloßem Auge betrachteten Punktes werden.

Wir unterscheiden zwischen Projektionssystemen und solchen Systemen, die nur in Verbindung mit dem Auge benutzt werden. Zu letzteren gehören die Lupe, das Mikroskop und das Fernrohr; zu ersteren die photographischen Objektive und die Objektive des Mikroskops und Fernrohrs für sich allein benutzt. Wir können demnach alle optischen Instrumente einteilen in solche ohne Okular und in solche mit Okular, wobei die letzteren (Mikroskop und Fernrohr) als die eigentlichen optischen Instrumente anzusprechen sind.

2. Photographische Objektive. 2a) Die Lochkamera. Als einfachster Repräsentant der photographischen Objektive kann die „Lochkamera" angesprochen werden. Soll doch das photographische Objektiv in erster Linie von einem Objekt auf einem Schirm (photographische Platte) ein reelles Bild erzeugen. Dieser Zweck wird tatsächlich erreicht, wenn man eine Röhre auf der einen Seite mit einer Platte verschließt, welche eine kleine Oeffnung besitzt und auf der anderen Seite mit einer photographischen Platte. Die Entstehungsweise des Abbildes geht aus Figur 1 hervor, in welcher ab die Oeffnung, Ll das abzubildende Objekt und T den auffangenden Schirm oder die photographische Platte darstellen. Die Oeffnung ab wird so klein gewählt, daß noch die geradlinige Strahlentheorie gilt d. h. daß die Beugung des Lichtes keine Rolle spielt. Dann entsteht von jedem Objektpunkt l ein Bildfleck l' und zwar von gleicher Begrenzung wie die Oeffnung und von nahe der gleichen Größe, wenn der Objektabstand relativ groß zum Bildabstand ist. Das entstehende Bild ist also kein punktweises Abbild, sondern vergleichbar einem Mosaikbild. Die Begrenzung der Oeffnung spielt keine Rolle; auch eine dreieckige oder irgendwie gestaltete Oeffnung gibt ein perspektivisch ähnliches

Digitized by Google

Abbild vom Objekt. So entsteht von der Sonne, wenn sie durch das Laub der Bäume (d. h. durch die kleinen Zwischenräume) scheint, ein rundes oder ovales Bild, wenn man die durchgegangenen Strahlen auf einem Schirm auffängt, der senkrecht oder schräg zur Strahlenrichtung steht.

Ist der auffangende Schirm eben und steht seine Ebene senkrecht zur Normalen der abbildenden Oeffnung, so entsteht ein dem Objekt perspektivisch ähnliches Abbild, welches bis zum äußersten Rande frei von Verzeichnung ist. Gerade diesem Umstand verdankt die Lochkamera ihre Bedeutung. Freilich sind die Unschärfe und die geringe Helligkeit des Bildes Uebelstände, welche jene Vorteile mehr als aufwiegen. Ein modernes Porträtobjektiv liefert ein Bild, welches in bezug auf Schärfe hunderte Male und an Helligkeit viele tausende Male dem Lochbild überlegen ist.

2b) Die einfache Sammellinse als photographisches Objektiv. Ihr haften vor allem zwei Fehler an, die sphärische und die chromatische Aberration. Die sphärische Aberration ist um so kleiner, je kleiner der Linsendurchmesser relativ zur Brennweite („Oeffnungsverhältnis") gewählt wird. Bei einem Oeffnungsverhältnis von $^1/_{30}$ ist die sphärische Aberration kleiner als der Beugungseffekt. Bei einem Linsendurchmesser von 10 mm und einer Brennweite von 300 mm beträgt (für Natriumlicht) der Durchmesser des Beugungsscheibchens 0,042 mm.

Bei Anwendung weißen Lichtes tritt die chromatische Aberration auf, welche sich bei einer einfachen Sammellinse von relativ geringer Dicke auf keine Weise beseitigen läßt. Für Crownglas ist der Durchmesser des chromatischen Zerstreuungskreises gleich dem 0,035ten Teil des Linsendurchmessers, also im obigen Falle (Durchmesser 10 mm) gleich 0,35 mm. Die Chromasie der Linse verursacht also eine bedeutende Unschärfe des Bildes, so daß es unbedingt notwendig ist als photographische Objektive vom chromatischen Fehler befreite d. h. achromatische Linsensysteme anzuwenden.

2c) Abhängigkeit der Lichtstärke von der Oeffnung und der Brennweite des photographischen Objektivs. Es werde angenommen, daß das Objektiv S (Fig. 2) so gut korrigiert sei, daß es von jedem Objektpunkt L oder Q ein punktförmiges Abbild L' oder Q' entwirft. Um die Gesetze zu finden, von welchen die Lichtstärke des Objektivs abhängt, müssen wir unterscheiden zwischen der Abbildung eines leuchtenden Punktes (Fixstern) und eines flächenhaften Objektes.

α) Lichtstärke bei punktförmigen

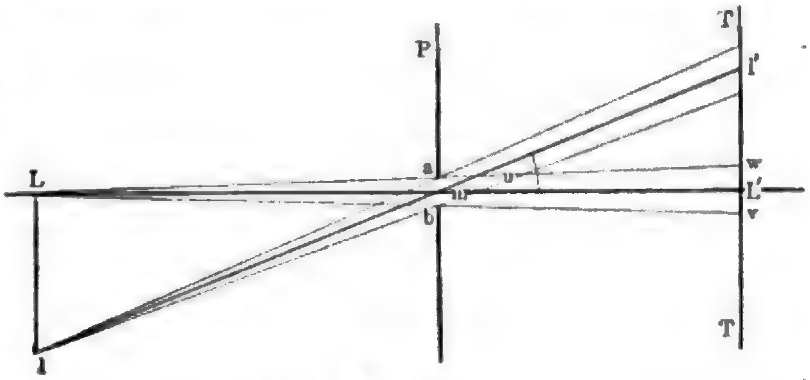


Fig. 1.

Gebilden (Fixsterne). Es sei nur ein einziger leuchtender Objektpunkt L abzubilden, von welchem die sämtlichen auf die Linse ab auffallenden Strahlen im konjugierten Bildpunkt L' vereinigt werden. Dann ist die Intensität (Lichtmenge) im Bildpunkte L' proportional der im räumlichen Kegel aLb verlaufenden Strahlenmenge, da ja diese zum Bildpunkte L' geleitet wird.

Bezeichnen wir den Linsendurchmesser oder die Oeffnung des Systems mit D und den

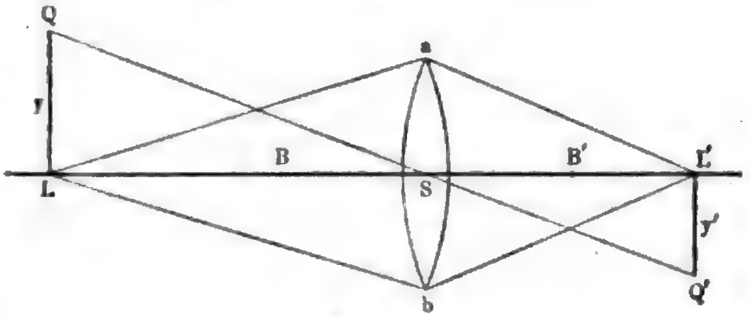


Fig. 2.

Objektabstand mit E, so ist die Intensität im Bildpunkte proportional:

$$D^2/E^2 \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Wir erhalten somit bei der Abbildung folgende Gesetze:

1. Die Lichtstärke ist umgekehrt proportional dem Quadrate des Objektabstandes.

2. Bei einem und demselben Objektabstande wächst die Lichtstärke proportional dem Quadrate der Oeffnung, ist dagegen von der Brennweite des Objektivs vollkommen unabhängig.

Als wesentlich für die Ableitung dieses vom Verfasser „Punktgesetz" genannten

Digitized by Google

Gesetzes war vorausgesetzt worden, daß das System einen Punkt als Punkt abbildet. Fixiert man das von der Linse entworfene Bild auf einer photographischen Platte, so tritt ein neues Moment hinzu, welches jene Voraussetzung in gewissem Grade beseitigt, ohne die Gültigkeit des Punktgesetzes aufzuheben: die Beschaffenheit der photographischen Platte. Infolge des „Korns" der Platte, bestehend aus einem Konglomerat von lichtempfindlichen Partikelchen, eingebettet in die nicht empfindliche Gelatine, wird stets die einem Bildpunkte zugeführte Lichtmenge auf eine kleine Fläche verteilt. Das Korn ist vergleichbar dem Netzhautelemente des Auges; es ist also gleichsam das „empfindende Element" der Platte, weshalb wir es als das „Plattenelement" bezeichnen können.

Unbeschadet der Lichtstärke darf also der „Bildpunkt" die Größe des Plattenelementes annehmen; sobald er aber das Plattenelement an Ausdehnung übertrifft, hört von da an auch die Gültigkeit des Punktgesetzes auf. Gemäß diesem ist nur dann ein Objektiv von doppelter, dreifacher usw. Oeffnung viermal, neunmal usw. so lichtstark, wenn trotz dieser Vergrößerung der Oeffnung das Bild eines Sternes höchstens so groß wie ein Plattenelement ist.

Bei der Himmelsphotographie erhält man also bei Vergrößerung der Oeffnung des Objektivs nur unter der Voraussetzung noch neue, lichtärmere Sterne, daß hierbei das Sternbild stets kleiner als das Element der benutzten Platte bleibt.[1])

Um daher lichtstarke Objektive zur Aufnahme von Sternen zu gewinnen, bleibt nichts anderes übrig, als alle Dimensionen des Objektivs zu vergrößern.

β) Lichtstärke eines flächenhaften Objektes. Ist das Objekt eine ausgedehnte Fläche, deren Bild stets eine große Anzahl von benachbarten Plattenelementen einnimmt, so verteilt sich die gesamte, durch das System vom Objekte zum Bilde geführte Lichtmenge auf eine um so größere Fläche, je größer das Bild ist. Die auf die Linse auffallende Lichtmenge ist direkt proportional der Flächengröße des Objektes (y^2) und der Linsenfläche (D^2), aber umgekehrt proportional dem Quadrate des Objektabstandes (E^2), also proportional dem Ausdruck:

$$y^2 . D^2/E^2.$$

[1]) Infolge der eigentümlichen Lichtverteilung im Zerstreuungskreise darf aber das Sternbild noch mehr als ein Plattenelement ausfüllen, ohne daß das „Punktgesetz" seine Gültigkeit verliert. Näheres siehe O. Lummer, Verhdlgn. d. Phys. Ges. zu Berlin, Jahrgang 14, Nr. 2, 1895.

Diese ganze Lichtmenge verteilt sich auf die Bildfläche, die ihrerseits proportional $(y')^2$ ist. Um die Lichtstärke pro Flächeneinheit im Bilde zu erhalten, dividieren wir obigen Ausdruck durch y'^2 und erhalten:

$$(y/y')^2 . (D/E)^2.$$

Bezeichnet man den Abstand des Objektes L vom Brennpunkte B des Objektraumes mit x und entsprechend den Abstand des Bildes L' von B' mit x', so gilt (vgl. den Artikel „Linsensysteme"):

$$x . x' = FF'$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{F}{x} = \frac{x'}{F'}$$

wenn mit F die vordere und mit F' die hintere Brennweite des Systems bezeichnet wird. Falls das Medium wie beim photographischen Objektiv auf beiden Seiten das gleiche (Luft) ist, wird F=F' und demnach die gesuchte Intensität proportional:

$$\left(\frac{x}{x+F}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{F}\right)^2 = \left(\frac{D}{F}\right)^2$$

unter der Annahme, daß der Objektabstand x gegen die Brennweite F relativ groß ist. Dann gilt für flächenhafte Objekte:

1. Die Lichtstärke des Bildes ist bei einem und demselben Objektiv unabhängig von der Entfernung des Objektes.

2. Die Lichtstärke wächst mit dem Quadrate der Oeffnung und nimmt ab mit dem Quadrate der Brennweite, oder kürzer ausgedrückt, die Lichtstärke ist proportional dem Quadrate des Oeffnungsverhältnisses (D/F).

3. Zwei Objektive sind von gleicher Lichtstärke, wenn bei beiden das Oeffnungsverhältnis (D/F) denselben Wert hat.

Für die Aufnahme von ausgedehnten Objekten ist es also in bezug auf die Lichtstärke ganz gleichgültig, ob dieselbe bei gleichem Oeffnungsverhältnis mit einem sehr kleinen oder sehr großen Objektiv gemacht wird. Die Vergrößerung aller Dimensionen eines Objektivs bringt also für die Photographie flächenhafter Objekte keinen Lichtgewinn mit sich; sie bewirkt einzig und allein eine Vergrößerung des Bildes.

2d) Tiefe des Objektivs. Eine weitere Forderung an die Wirkung der photographischen Systeme entsteht dadurch, daß das Bild eines körperlichen Objektes auf einer ebenen Fläche, der photographischen Platte, entworfen wird. Da die Entfernung der Bildebene vom System sich ändert, wenn diejenige der Objektebene variiert, so wird also nur die in einem ganz bestimmten Abstande befindliche Objektebene scharf gezeichnet, auf welche vorher scharf eingestellt worden ist. Jede andere Objektebene wird nicht punktweise abgebildet.

Digitized by Google

In Figur 3 seien B und B' die Brennpunkte des Systems S, welches eine punktweise Abbildung liefert. Die von L kommenden Strahlen schneiden sich demnach in L', die von Q ausgehenden (punktiert gezeichneten) dagegen in Q', wo die L-Strahlen schon wieder divergieren und die Kreisfläche mp vom Durchmesser z ausfüllen. Um die Größe von z zu bestimmen, erinnern wir uns der für die Axialvergrößerung im Artikel „**Linsensysteme**" abgeleiteten Formel. Bedeutet F die Brennweite des Systems, δ den Abstand LQ, δ' den Abstand L'Q', x und x' die Entfernung LB und L'B', so gilt, falls δ gegen x als klein angenommen wird:

$$\delta' = \delta \cdot \frac{F^2}{x^2}$$

Von System zu System variiert in dieser Formel lediglich der Wert von F, vorausgesetzt, daß der Objektabstand x derselbe bleibt. Ein System zeichnet also um so tiefer, je kleiner seine Brennweite ist.

Um also möglichst tiefe Bilder zu erzielen, wird man stets ein Objektiv von sehr kleiner Brennweite wählen und die Oeffnung so eng machen, wie es die Beugung erlaubt. Das so vom körperlichen Objekte auf einer Fläche (oder Ebene) erhaltene Bild kann man dann so weit vergrößern, als es das Korn der Platte erlaubt. Ein solches Bild ist wenigstens theoretisch stets von größerer Tiefe, als wenn es in gleicher Größe direkt mittels eines Systems von passender Brennweite hergestellt worden wäre.

2e) **Spezielle Konstruktionen. Unsymmetrische und symmetrische Doppelobjektive. Petzvalsches Porträtobjektiv. Steinheilscher Antiplanet. Zeiß-Anastigmat „Protar". Zeiß-„Tessar".** In der Zeit, da die Photographie aufkam und **Draper** in New York 1840 das erste Porträt einer lebenden Person bei einer Expositionszeit von 10 bis 20 Minuten erhielt, machte sich der Wunsch geltend, ein lichtstarkes Objektiv zu besitzen, welches die Zeit der Exposition verminderte. **Petzval** in Wien und **Chevalier** in Paris suchten, unabhängig voneinander, dieses Ziel zu erreichen, indem sie aus mehreren Gliedern zusammengesetzte Linsenkombinationen konstruierten, welche wesentlich dazu beitrugen, die Photographie populär zu machen.

Beim **Petzval**schen „Porträtobjektiv" (Fig. 4) ist alles dem Zwecke geopfert, bei großem Oeffnungsverhältnis wenigstens die Bildmitte scharf zu erhalten d. h. die chromatische Abweichung und die sphärische Aberration auch höherer Ordnung zu beseitigen. Letzteres gelingt nur durch Anwendung mehrerer **getrennter** Linsen. Um

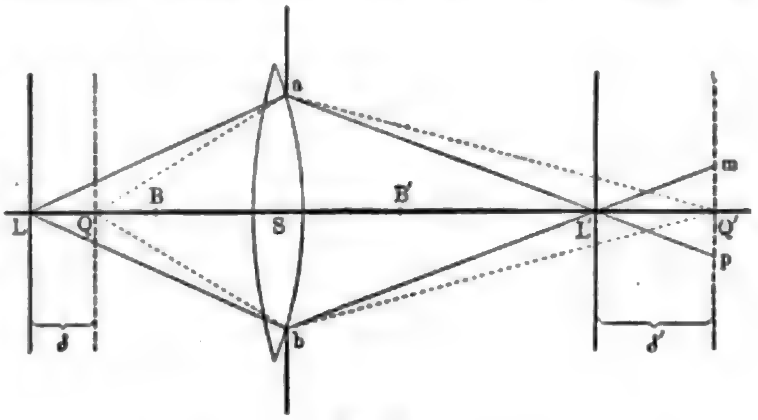


Fig. 3.

diesen Bedingungen gerecht zu werden, mußte rechnerisch zu Werke gegangen werden, wie es **Petzval** zuerst getan hat.

Das von **Voigtländer** (1841) ausgeführte **Petzval**sche Objektiv vertrug eine nahezu 20 fache Vergrößerung und besaß eine 16 mal

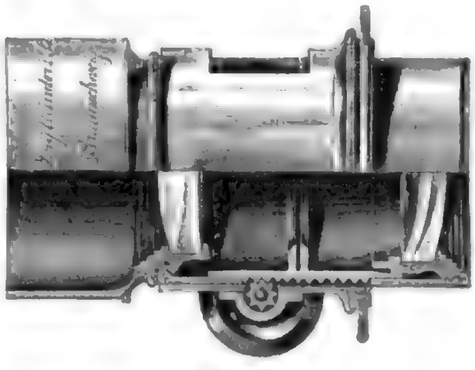


Fig. 4.

so große Lichtstärke wie der von **Daguerre** benutzte Achromat. Diese große Errungenschaft war aber mit verhältnismäßigen Opfern bezahlt worden, welche das zur Aufnahme von Porträts sehr geeignete Objektiv für andere Zwecke (Gruppen und Landschaftsaufnahme) ungeeignet machten, da das Bild außerhalb der Achse die Fehler schiefer Büschel zeigte. Zur Beseitigung dieser Uebelstände konstruierte **Steinheil** im Jahre 1881 seinen Antiplanet (Fig. 5). Auf Grund umfangreicher Rechnungen hatte Dr. **Adolf Steinheil** erkannt, daß das Bild an Schärfe um so gleichmäßiger ist, je ungleicher die Gesamtleistung des Objektivs auf die beiden Glieder desselben verteilt ist. Auf diese Weise gelang es ihm innerhalb eines beschränkten Gesichtsfeldes den Astigmatismus zugleich mit der Bildwölbung zu verringern.

Zur Erreichung der vom Antiplaneten erstrebten „anastigmatischen Bildebenung" über ein großes Gesichtsfeld führte erst das von Dr. **Rudolph** in Jena aufgestellte Prinzip der gegensätzlichen Ab-

Digitized by Google

stufung der Brechungsquotienten in den beiden Gliedern des unsymmetrischen Doppelobjektivs. Hatte Steinheil durch absichtlich hohe, aber entgegengesetzte Fehler in den

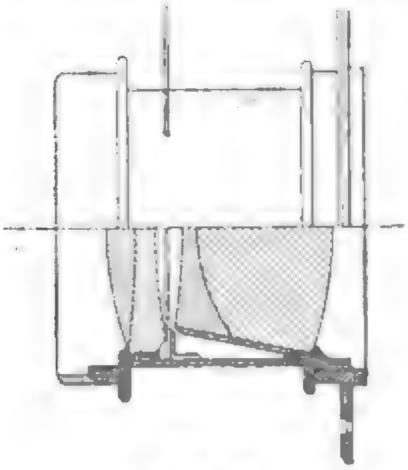


Fig. 5.

beiden Gliedern schon eine gewisse Reduktion der Anomalien schiefer Büschel erreicht, so konnte P. Rudolph dieselben tatsächlich beseitigen, indem er ein aus älteren Glaspaaren gebildetes, chromatisch und sphärisch korrigiertes Glied (vom Verfasser „Altachromat" genannt) mit einem aus neueren Jenaer Glaspaaren gebildeten, chromatisch und sphärisch korrigierten Gliede („Neuachromat") verband oder wie wir einfach sagen können: indem er einen Neuachromaten mit einem Altachromaten kombinierte (vgl. den Artikel „Lichtdispersion").

So entstand der Zeißsche „Anastigmat", welcher heute unter dem Namen „Protar" in 2 Serien ausgeführt wird. Sein Hauptvorteil liegt in der großen Winkelausdehnung des benutzbaren Gesichtsfeldes, die das Protar zu Aufnahmen von Innenräumen, Panoramen, usw. geeignet erscheinen lassen. Infolge seines relativ geringen Oeffnungsverhältnisses (1:9) ist es zu Momentaufnahmen weniger geeignet.

Für Momentaufnahmen wird von Zeiß das von Dr. Rudolph 1902 erfundene „Tessar" gebaut, welches in 4 Serien (1:3,5; 1:4,5; 1:6,3 und im großen Maßstabe als Reproduktions-Tessar 1:12) im Handel ist. Das Tessar 1:4,5 (Fig. 6) ist bei voller Oeff-

Fig. 6.

nung besonders für Momentaufnahmen geeignet und dem Tessar 1:6,3 in bezug auf Lichtstärke um 100% überlegen. Dafür zeichnet letzteres bei voller Oeffnung einen scharfen Bildkreis von etwa 65°, ersteres von etwa 55° und beim Oeffnungsverhältnis 1:36 (entsprechende Blende) Bildkreise von etwa 80° bezw. 65°. Dabei sind beide Tessartypen „so vollkommen verzeichnisfrei wie kaum ein anderer lichtstarker Anastigmat, die symmetrischen (Doppelobjektive) eingeschlossen" (Dr. Wandersleb, Photogr. Corresp. März 1907).

Allgemeine Eigenschaften symmetrischer Doppelobjektive. Steinheilscher Aplanat. Zu der Zeit, als außer der gewöhnlichen Landschaftslinse, dem Petzvalschen Porträtobjektive und einer Abänderung desselben, dem Orthoskop, kein Objektiv existierte, welches bei relativ großer Lichtstärke ausgedehnte Bilder verzerrungsfrei und scharf lieferte, wurde die photographische Optik durch den Steinheilschen Aplanaten (Fig. 7) bereichert,

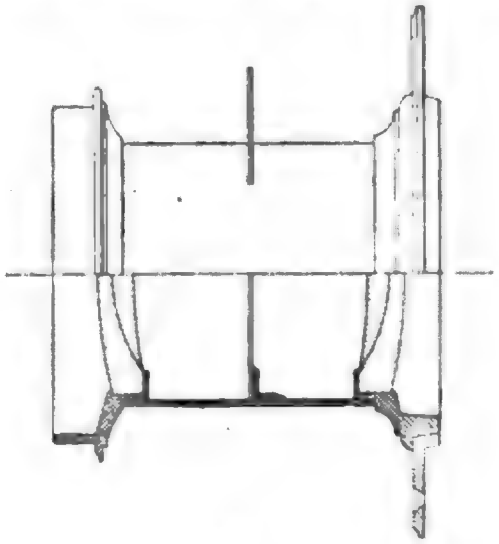


Fig. 7.

welcher schon kraft der Anordnung zweier gleichen Glieder, symmetrisch zur Blendenmitte, allen seinen Vorgängern überlegen war.

Die Vorzüge der symmetrischen Doppelobjektive oder „Aplanate" sind, wenigstens bei der Abbildung eines Objektes in natürlicher Größe, allein durch die Anordnung dreierlei Art: Erstens zeichnen sie bei nicht sehr schief einfallenden Büscheln orthoskopisch, d. h. verzeichnungsfrei. Zweitens liefern sie für verschiedene Farben gleichgroße Bilder, d. h. sie sind frei von farbiger Vergrößerungsdifferenz. Drittens ist der einseitige Rest der sphärischen Aberration oder der Comafehler bei ihnen von selbst beseitigt.

Diese natürlichen Vorzüge der Aplanate beruhen wiederum auf dem Prinzip der Kompensation. Indem man zwei gleiche Glieder I und II (Fig. 8) symmetrisch zur

Digitized by Google

Blendenmitte m anordnet, zwingt man die Hauptstrahlen qq' der wirksamen Büschel, ein und dasselbe System (Glied I oder II) an derselben Stelle einmal in der einen Richtung, das andere Mal in der entgegengesetzten Richtung zu durchlaufen. Der längs Qqmq'Q' verlaufende Hauptstrahl erleidet dieselben Brechungen, als ob er das System I längs Qqm und nochmals längs mqQ durchlaufen würde.

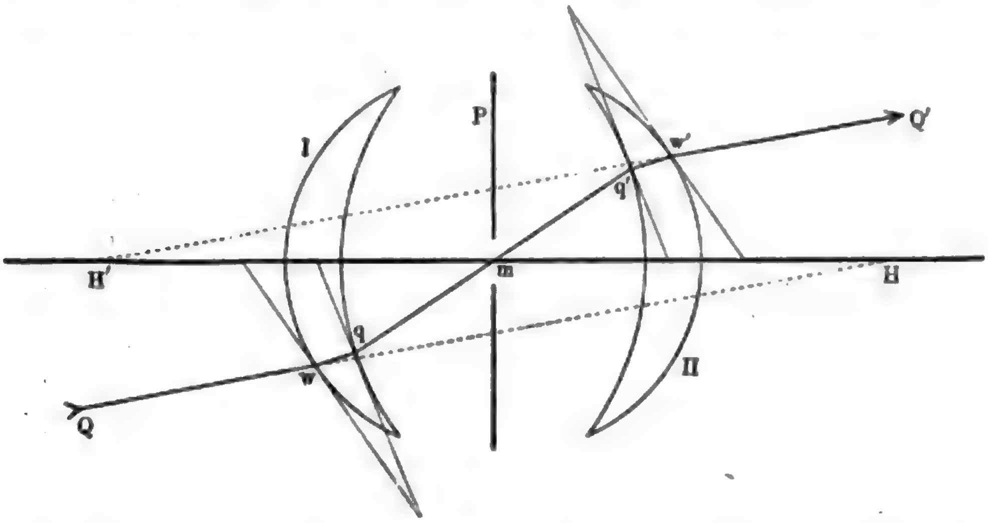


Fig. 8.

1. Orthoskopie. Die von m in genau entgegengesetzten Richtungen mq' und mq ausgehenden Strahlen werden gleichmäßig gebrochen, so daß sie rückwärts verlängert die Achse im gleichen Abstande H'm=Hm schneiden. Da dies für jeden durch m gehenden Strahl gilt, so lautet unser Resultat: Sich entsprechende Hauptstrahlen im Bild- und Objektraum verlaufen parallel. Die Abbildung ist demnach winkelgetreu. Falls außerdem H und H' für alle möglichen Richtungen qmq' dieselben sind, d. h. falls das Gesamtsystem I und II in bezug auf die Eintrittspupille (H) und die Austrittspupille (H') sphärisch korrigiert ist, so ist das Bild frei von Verzerrung.

2. Beseitigung der farbigen Vergrößerungsdifferenz. Um zu zeigen, daß bei einem Aplanat von selbst die chromatische Differenz der Vergrößerung unmerklich wird, denken wir uns die vom Hauptstrahl QmQ' getroffenen Zonen qw und q'w' ersetzt durch die ihnen äquivalenten Prismen von gleicher Ablenkung wie die betreffenden Zonen. Da beide Prismen gleiche brechende Winkel und außerdem paarweise parallele Flächen besitzen, so können wir sie zusammen auffassen als eine Planparallelplatte, auf welche der Hauptstrahl schief auffällt. Es treten dann aus der Platte die verschiedenfarbigen Strahlen als untereinander und zum einfallenden Strahl parallele Strahlen aus. Diese Farbenzerlegung wird aber unmerklich, sobald außer dem Hauptstrahle auch noch andere Strahlen von nahe derselben Richtung eintreten, wie es der Fall ist, wenn die Blende P nicht unendlich klein ist. Sind demnach einerseits die verschiedenfarbigen Bilder von gleicher angulärer Größe, so liegen ihre Hauptpunkte so eng aneinander, daß in Wirklichkeit die verschiedenfarbigen Bilder sich decken.

3. Aufhebung des Comafehlers. Wenn ein System für die achsenparallelen Strahlen nicht ganz bis zum Rande sphärisch korrigiert ist, so schneiden sich die Randstrahlen paralleler Büschel in einer symmetrisch zur Achse gelegenen Kaustik, die Randstrahlen der schiefen Büschel dagegen in einer zur Achse des schiefen Büschels einseitigen unsymmetrischen Kaustik. Dieser einseitige Rest („Coma") wird beim Aplanattypus praktisch verschwindend klein.

Anastigmataplanate. Um die Vorzüge des Aplanaten mit denjenigen des Anastigmaten zu verbinden, sind die „Anastigmataplanate" symmetrisch zur Blendenmitte gebaut und aus Einzelgliedern zusammengesetzt, von denen jedes nach dem Rudolphschen anastigmatischen Korrektionsprinzip mindestens aus drei verkitteten Linsen besteht.

1. Der Doppelanastigmat von C. P. Görz: Das erste Objektiv dieser Art wurde im Jahre 1893 von C. P. Görz nach den Rechnungen des Herrn von Hoegh unter dem Namen „Doppelanastigmat" (Fig. 9) auf

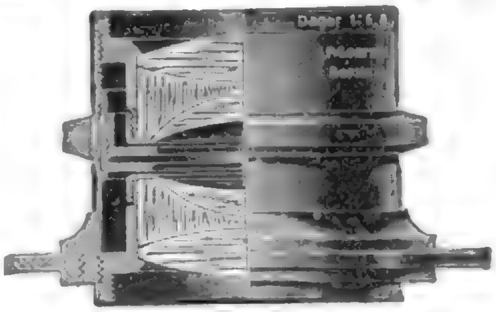


Fig. 9.

Digitized by Google

den Markt gebracht. Der Görzsche Doppelanastigmat war bei seinem Erscheinen das beste symmetrische Doppelobjektiv und hat den Weltruf der Firma Görz begründet. Bei voller Oeffnung (1:7,7) zeichnet er einen Bildwinkel von 70° scharf aus. Jedes Glied kann auch als Einzelobjektiv Verwendung finden.

Das „Collinear" von Voigtländer ist ähnlich dem Doppelanastigmaten aus 2 gleichen dreifachen Gliedern zusammengesetzt. Auch hier ist das Einzelglied für sich brauchbar, aber ebenfalls der Gesamtleistung untergeordnet. Aehnliches gilt vom Steinheilschen „Orthostigmat" (1896).

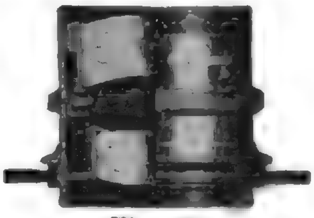


Fig. 10.

Das „Doppel-Protar" (Fig. 10) und das „Doppel-Amatar" von Carl Zeiß gehören, wie schon der Name sagt, ebenfalls zu den symmetrischen Doppelobjektiven, deren Einzelglieder das „Protar" und das „Amatar" bilden. Infolge der Symmetrie kann nach Abschrauben des vorderen Gliedes das hintere Glied mit der vollen Oeffnung (1:12,5) für sich allein als langbrennweitiges Objektiv verwendet werden, genau wie beim Doppelanastigmat von Goerz und den anderen neueren Doppelobjektiven.

Objektivsätze: Ergänzt man z. B. das Doppel-Protar durch Hinzunahme einer dritten Protarlinse mit benachbarter Brennweite zu einem „Protarsatz" und nimmt vielleicht noch ein spezifisches Weitwinkelobjektiv hinzu, so verfügt man über eine Universalausrüstung, die allen Wünschen nach Abstufungen der Brennweiten für ein bestimmtes Plattenformat bei reichlicher Lichtstärke gerecht wird. Das gleiche gilt von den anderen existierenden Doppelobjektiven der verschiedenen Firmen.

Mit dem achtlinsigen symmetrischen Doppelobjektiv scheint die Verbesserung photographischer Objektive nach der Richtung hin zu einem gewissen Abschluß gelangt zu sein, welche bezweckt, die neuen Jenaer Gläser nutzbar zu machen unter Verwirklichung des von Rudolph ausgesprochenen anastigmatischen Korrektionsprinzips,

Teleobjektiv: Einen ganz besonderen Platz unter den photographischen Objektiven nimmt das Teleobjektiv ein, welches benutzt wird, um ferne Gegenstände möglichst groß abzubilden. Da die Bildgröße nur vom Objektabstande und der Brennweite abhängt, so bedarf es bei gegebenem Objektabstande zur Erzielung großer Bilder auch großer Brennweiten. Große Brennweiten erheischen bei den gewöhnlichen Objektiven aber auch große Cameralängen und demnach unhandliche Apparate zur Aufnahme. Diesem Uebelstande hilft das Teleobjektiv ab, insofern es bei relativ geringer Cameralänge eine große Brennweite besitzt.

In Figur 11 ist das „Teleobjektiv" im Prinzip schematisch dargestellt. Während das positive Glied S_1 eine Brennweite besitzt, die länger ist als der Abstand S_1S_2 der beiden Glieder S_1 und S_2, wirkt das Glied S_2 als Zerstreuungslinse. Dadurch kommt die Hauptebene vor das erste Glied S_1 zu liegen, so daß die Brennweite größer wird als die Vereinigungsweite oder Cameralänge. Im Prinzip wirkt das Teleobjektiv

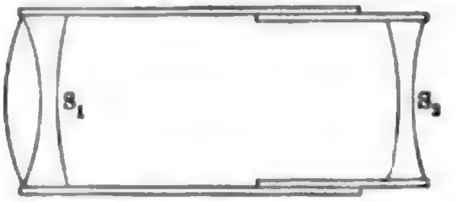


Fig. 11.

also wie ein Galileisches Fernrohr oder Opernglas, wenn man dieses als Ganzes als Projektionssystem benutzt.

Für lichtschwächere Telekombinationen kann man als Positivglied ein Doppelobjektiv und als Negativglied eines der „Telenegative" verwenden, deren Brennweite im allgemeinen nicht kleiner als $^1/_3$ der Brennweite des Positivgliedes sein soll.

Lichtstärker sind die eigens zu dem Zwecke konstruierten Teleobjektive, bei denen das Positiv- und Negativglied nicht einzeln korrigiert sind, sondern zusammen ein Ganzes, in sich korrigiertes Teleobjektiv, bilden. So entstand das von Rudolph berechnete „Planar", welches heute von Zeiß nur noch als Mikroplanar gebaut wird und in theoretischer Hinsicht eine ähnliche einschneidende Neuerung darstellte wie die Anastigmat-Doppelobjektive beim Aplanat-Typus. Das Planar ist neuerdings ersetzt durch das „Magnar" (1:10), welches von Zeiß in zwei Größen geliefert wird, mit einer Brennweite von 45 cm und 80 cm bei einer Kameralänge von nur etwa 15 cm und für Bildgrößen von etwa 9 × 12 cm.

3. Projektionsapparate. 3a) Camera obscura. Photographische Kamera. In Figur 12 ist eine der früher gebräuchlichen Formen der Dunkelkammer abgebildet. Die von der Linse konvergent ge-

Digitized by Google

machten Strahlenbüschel werden vor ihrer Vereinigung durch einen um 45° gegen die Linsenachse geneigten Spiegel nach oben reflektiert, so daß das Bild eines entfernten Gegenstandes bei ik auf einer daselbst befindlichen mattierten Glasscheibe entsteht. Der Deckel gh soll das von oben her auffallende störende Nebenlicht möglichst abblenden. Der Camera obscura verwandt ist die „photographische“ Kamera.

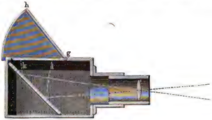


Fig. 12.

Durch die Erfindung der Photographie wuchsen die Ansprüche sowohl an die projizierenden Linsen (photographische Objektive) wie an die Kamera selbst. Die Entwickelung der photographischen Objektive haben wir ausführlich behandelt. Um so mehr müssen wir es uns versagen, auf die unzähligen Variationen der photographischen Kamera selbst einzugehen.

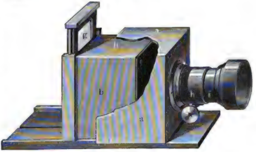


Fig. 13.

Allen gemeinsam ist der dunkle Kasten, welcher die zum Bilde nicht beitragenden Strahlen von der photographischen Plattefernhält. Die „Lichtdichtigkeit“ ist bei der photographischen Kamera ungleich wichtiger als bei der Camera obscura. Figur 13 zeigt eine Kamera, wie sie in der ersten Zeit gebräuchlich war. Je näher der Gegenstand rückt, dessen Bild man erhalten will, desto weiter muß man den Kasten b aus a herausziehen. Die feinere Einstellung geschieht durch Bewegung der Linse mittels des Triebes r.

In Figur 14 ist eine der neueren Atelier-Kameras abgebildet. Der Kasten ist ersetzt durch einen Balg, wie er bei Harmonikas gebräuchlich ist; der Rahmen für die matte Scheibe oder photographische Platte ist sowohl um eine vertikale wie horizontale Achse drehbar und an jeder Stelle auf der Grundplatte feststellbar damit man die Mattscheibe auch bei schräg nach unten geneigter Kamera stets in vertikale Lage stellen kann.

Fig. 14.

3b) Laterna magica. Moderne Projektionsapparate. Epidiaskop. Die Laterna magica oder Zauberlaterne ist der einfachste Repräsentant der sogenannten Projektionsapparate, welche bestimmt sind, von einem Objekt ein reelles, vergrößertes Bild auf einem Schirme einem größeren Zuschauerkreise sichtbar zu machen. Ist das Objekt ein Selbstleuchter, so genügt eine einfache Sammellinse und der Projektionsapparat ist in seiner allerprimitivsten

Digitized by Google

Gestalt fertig. Entwirft doch eine Sammellinse von einem zwischen der einfachen und doppelten Brennweite befindlichen leuchtenden Objekt auf einem in der konjugierten Bild-

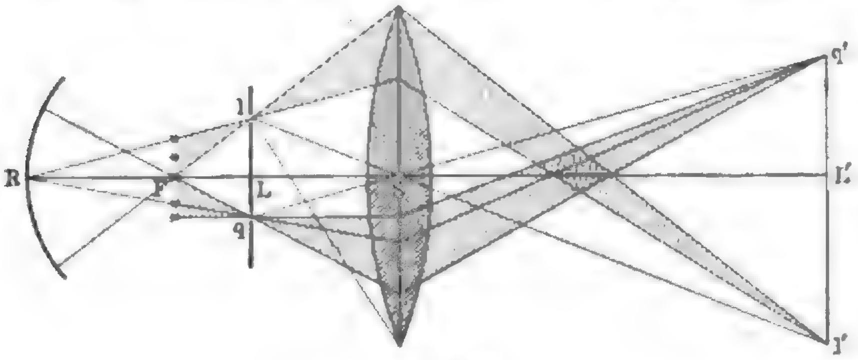


Fig. 15.

distanz stehenden Schirm ein reelles vergrößertes Bild.

Ist das Objekt hingegen nicht selbstleuchtend, so bedarf es noch einer Lichtquelle, um das Objekt mittels durchgehenden oder reflektierten Lichtes leuchtend zu machen. Müssen schon die Selbstleuchter intensiv sein, sollen sie starke Vergrößerungen vertragen, so erheischen die opaken Gegenstände erst recht lichtstarke Beleuchtungsvorrichtungen. In weitaus den meisten Fällen handelt es sich um die Projektion durchscheinender oder opaker Objekte. Der Fortschritt im Bau von Projektionsapparaten war daher außer auf die Projektionslinsensysteme im wesentlichen auf die Verbesserung der Beleuchtungsvorrichtung und die Ausnutzung geeigneter Lichtquellen gerichtet, um die Objekte zu erleuchten.

Schon bei der einfachsten Laterna magica sucht man die von der beleuchtenden Flamme F (Fig. 15) ausgehenden Strahlen dadurch möglichst auszunutzen, daß man hinter der Flamme bei R einen Hohlspiegel anbringt, welcher die rückwärts gehenden Strahlen wieder gegen die Flamme reflektiert und so deren Leuchtkraft in bezug auf das Objekt L vermehrt.

Um das zu projizierende Objekt möglichst intensiv zu beleuchten, dient auch heute noch die von Duboscq eingeführte und schematisch in Figur 16 skizzierte Einrichtung. Als Lichtquelle dient elektrisches Bogenlicht, Drumondsches Kalklicht, Acetylenlicht usw. Das prinzipiell Neue besteht darin, daß die Strahlen der Lichtquelle, noch ehe sie das Objekt AA' (Diapositiv) treffen, durch mehrere Sammellinsen CC', DD' und EE' („Kondensorlinsen") schwach konvergent gemacht werden, so daß sie durch das Projektionsobjektiv (MM' und NN') etwa bei l vereinigt würden, wenn das Diapositiv AA' nicht eingeschoben wäre. Der Projektionskopf (MM' und NN') ist mittels Triebs T verschiebbar, um vom Diapositiv AA' auf dem Projektionsschirm ein deutliches Abbild entwerfen zu können.

Um außer Diapositiven auch Zeichnungen, Tabellen usw. projizieren zu können, hat man die sogenannten „Epiadoskope" konstruiert. In Figur 17 ist als Beispiel für epidiaskopische Projektion der „Universal-Projektionsapparat" von E. Leitz in Wetzlar wiedergegeben. Die zu projizierende Zeichnung ist auf dem horizontalen in seiner Höhe durch das Steuerrad verstellbaren Tisch glatt ausgebreitet und erhält ihr Licht von der schräg gestellten Bogenlampe. Bei ihr stehen die Kohlen rechtwinklig zueinander; dadurch ist der Krater der positiven Kohle freigelegt, so daß das volle Licht (bei 30 Ampere über 10 000 Hefnerkerzen) zur Wirkung gelangt. Die von der Zeichnung ausgehenden Strahlen treffen den unter 45° geneigten Spiegel und werden nach ihrer Reflexion durch das Objektiv von 40 cm Brennweite auf dem Projektionsschirm vereinigt. Die beleuchtete Fläche beträgt 20×28 cm; entfernt man die Lampe

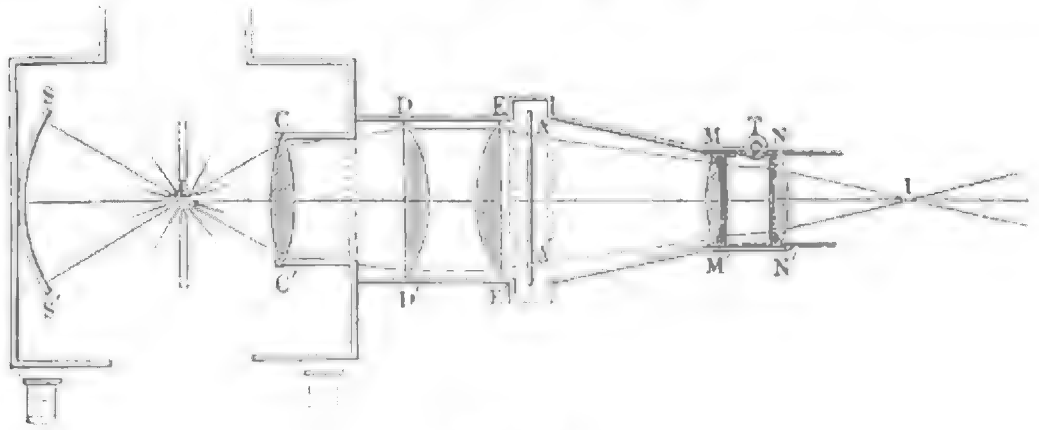


Fig. 16.

vom Kondensorsystem, so kann man das Licht auf eine kleinere Fläche konzentrieren.

Die punktiert gezeichneten Apparate treten in Tätigkeit, wenn man das „Universal-Instrument" zur „Mikroprojektion" verwenden will. Dann werden Objektiv und Spiegel zurückgeschlagen und die Lampe durch Bewegung des daraufsitzenden Hebels horizontal gestellt. In dieser Stellung der Lampe können auch Diapositive (9×12 cm) projiziert werden. Um größere Diapositive oder horizontal liegende Objekte (in Flüssigkeiten) zu projizieren, werden diese auf eine große, im großen Tisch eingelassene, Linse gelegt (die bei oben genannten Zwecken mit einem Schieber bedeckt ist) und es wird die Lampe gesenkt, bis ihre Strahlen den unter dem Tisch befestigten Spiegel treffen, von welchem sie vertikal auf die große Linse gespiegelt werden.

4. Das einfache Mikroskop (Lupe).

4a) Zweck und Wirkungsweise der Lupe. Je näher ein Objekt dem Auge gebracht wird, unter um so größerem Sehwinkel erscheint es. Könnte das Auge auf beliebig kleine Entfernungen akkommodieren, so könnte man durch Annäherung eines kleinen Objektes dasselbe ohne künstliche Mittel beliebig vergrößert sehen. Ein jedes Instrument, welches das Auge befähigt, ein in zu großer Nähe befindliches Objekt deutlich zu sehen, heißt ein Mikroskop. Als einfachster Repräsentant des Mikroskops kann eine einfache Sammellinse („Lupe") angesehen werden. Dies erläutert Figur 18.

Es sei AA' ein Gegenstand, der sich innerhalb der Brennweite der Sammellinse befindet; dann divergieren alle von einem Punkte des Gegenstandes AA' ausgehenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Linse gerade so, als ob sie von dem konjugierten Punkte des Bildes BB' her-

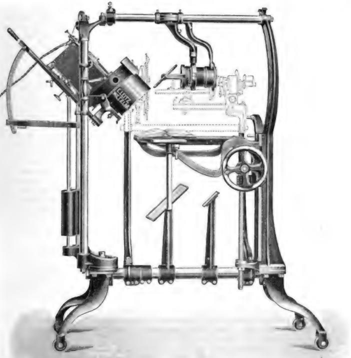


Fig. 17.

Digitized by Google

kämen. Ein auf der anderen Seite der Linse befindliches Auge wird den Gegenstand durch die Linse deutlich sehen können, wenn sich das Bild BB' in der Weite des deutlichen Sehens befindet.

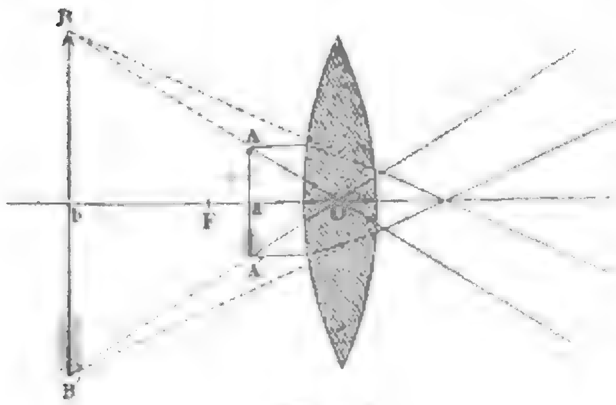


Fig. 18.

4b) Vergrößerung der Lupe. In Figur 19 sei y die Größe des Objektes LQ, welches um die Strecke x vom vorderen Brennpunkte B der Lupe S entfernt liegt; das konjugierte virtuelle Bild L'Q' habe die Größe y' und die Entfernung x' vom hinteren Brennpunkte B'. Ist rs die Pupille des beobachtenden

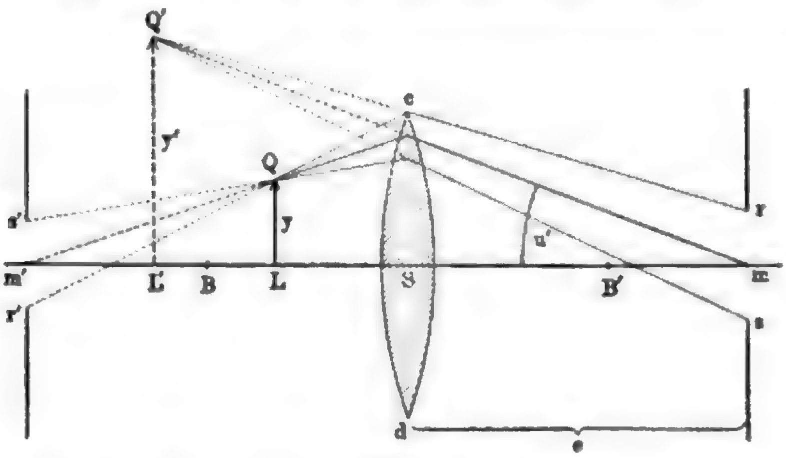


Fig. 19.

Auges, so müssen alle wirksamen Strahlen im Objektraume durch r's', das Bild von rs in bezug auf die Linse S, gegangen sein. Bedeutet noch u' den Sehwinkel, unter welchem das Bild y' dem beobachtenden Auge erscheint, so ist die Vergrößerungskraft der Lupe ceteris paribus um so größer, je größer der Sehwinkel u' wird. Das Verhältnis des Sehwinkels, unter dem das Bild y' erscheint, zu demjenigen, unter welchem das Objekt y ohne Lupe in derselben Entfernung L'm (deutliche Sehweite) erscheinen würde, wollen wir als die subjektive Vergrößerungskraft (N) bezeichnen. Ist l die deutliche Sehweite und f die Brennweite der Lupe, so gilt also:

$$N = l/f$$

Setzen wir für die deutliche Sehweite l = 250 mm, so wird für f = 25 mm oder 1 mm die subjektive Vergrößerungskraft N = 10 oder 250.

Als Abbesche Vergrößerungskraft (V) wollen wir dagegen definieren das Verhältnis:

$$V = \mathrm{tg}\, u'/y.$$

Bezeichnen wir den Abstand (B'm) der Augenpupille rs vom hinteren Brennpunkte der Lupe mit X' so gilt:

$$V = \mathrm{tg}\, u'/y = 1/f\,(1 - \frac{X'}{x})$$

also für das auf Unendlich akkommodierte Auge ($x' = \infty$) oder für den Fall, daß die Augenpupille in den hinteren Brennpunkt B' rückt ($X' = 0$):

$$V = 1/f$$

d. h. die Abbesche Vergrößerungskraft einer Lupe ist (für $x' = 0$ oder $X' = 0$) umgekehrt proportional der Brennweite der Lupe.

4c) Gesichtsfeld und Helligkeit. Jedes System hat seine Ein- und Austrittspupille, welche bei gegebener Lage von Objekt und zugehörigem Bilde den ganzen Strahlengang bestimmen (vgl. den Artikel „Abbildungslehre"). Tritt zum System bei subjektiver Beobachtung noch das menschliche Auge, so beeinflußt die Augenpupille je nach ihrer Größe und Stellung den Strahlengang, da sie in Konkurrenz mit der Austrittspupille des Systems tritt. Ganz besonders gilt dies von der Lupe, wo der Rand cd (Fig. 20) der Linse die einzige Begrenzung des Systems ist. Die Oeffnung cd vertritt also zugleich die Ein- und Austrittspupille der Lupe, und alle auf sie auffallenden Strahlen werden zum Bilde gelenkt. Ist das

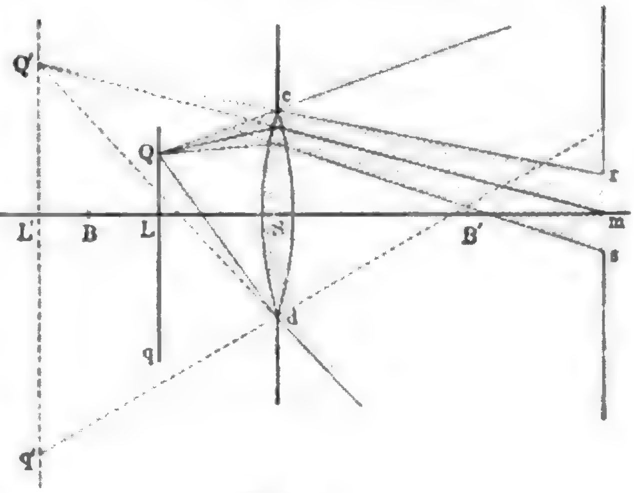


Fig. 20.

Objekt bei L eine ausgedehnte Ebene, so wird das virtuelle Bild bei L' ebenfalls eine solche, von deren Punkten Q' Strahlenbüschel mit der Basis der Linsenöffnung cd in den Bildraum (rechts von der Linse) gelangen. Anders wenn, wie bei der Lupenbeobachtung, hinter der Linse S noch die Oeffnung rs der Augenpupille in Tätigkeit tritt. Jetzt kommen nur diejenigen Strahlen (schraffiert in Fig. 20) zur Wirksamkeit, welche durch die Augenpupille gelangen. Es schneidet also die Augenpupille aus den vorher weitgeöffneten Strahlenbüscheln nur je ein enges aus. Da aber von der Anzahl der Strahlen auch die Helligkeit abhängt, so wirkt die Augenpupille in diesem Falle als Aperturblende, insofern sie die Apertur der abbildenden Büschel beschränkt. Wie die Figur lehrt, schneidet die Augenpupille von den verschiedenen Büscheln verschieden viel aus, je nach der Lage der Bildpunkte, von denen sie zu kommen scheinen. Die Folge davon ist, daß die Bildfläche an den verschiedenen Stellen verschieden hell gesehen wird, selbst wenn die Objektebene überall gleich stark leuchtet. Ist somit rs die Aperturblende, so wirkt die Linsenöffnung cd als Gesichtsfeldblende, denn sie verhindert, daß von gewissen Punkten (z. B. q') überhaupt ein Strahl nach rs gelangen kann. Das Auge sieht somit nur diejenigen Bildpunkte, von denen Strahlen sowohl durch die Oeffnung cd als auch durch die Pupille rs dringen können. Von der überhaupt sichtbaren Fläche der ausgedehnten Bildebene erscheint also nur derjenige Teil unter voller Helligkeit, wie das direkt gesehene Objekt, dessen Strahlenbüschel die Pupille rs ganz ausfüllen, während der andere Teil mit geringerer Helligkeit gesehen wird.

Die Größe des Sehfeldes hängt somit von der Definition ab; versteht man darunter die mit voller Helligkeit gesehenen Objektpunkte, so ist das Sehfeld ein anderes, als wenn man die überhaupt noch gesehenen Objektpunkte in das Gesichtsfeld einbegreift.

Als Gesichtsfeldwinkel wollen wir denjenigen definieren, welcher von den Hauptstrahlen (stark gezeichnet) der abbildenden Büschel gebildet wird. Er ist um so größer, je kleiner der Abstand zwischen der Linse cd und der Augenpupille rs ist.

4d) Gebräuchliche Lupenkonstruktionen. Die einfachen Linsen genügen selten den Anforderungen, die man an ein gutes Lupenbild zu stellen hat. Soll doch die Lupe ein scharfes und deutliches Bild geben und dabei ein großes Gesichtsfeld besitzen.

Schon durch Anwendung zweier einfacher Linsen wird das Lupenbild wesentlich verbessert, insofern durch Verteilung der Brechung auf mehrere Linsen die sphärische Aberration in der Achse bedeutend verringert wird. Die bekanntesten Ausführungsformen dieses Typus sind die Fraunhofersche Lupe (Fig. 21) und die Wilsonsche Lupe (Fig. 22).

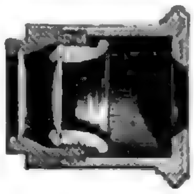


Fig. 21.

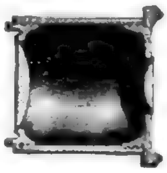


Fig. 22.

Die „aplanatische" Lupe nach Steinheil besteht aus drei verkitteten Linsen, hat einen relativ großen Objektabstand und besitzt ein relativ großes ebenes Sehfeld. Die „anastigmatische" Lupe von C. Zeiß besteht sogar aus vier Linsen und besitzt selbst bei starken Vergrößerungen noch in allen Teilen des relativ großen Sehfeldes eine gute Abbildung bei großem Objektabstand.

Zu erwähnen ist auch noch die „Verantlupe" von Carl Zeiß, welche die zuerst von A. Gullstrand ausgesprochene Forderung erfüllt, die Lupe für einen Blendenort zu korrigieren, der etwa 2,5 cm über der oberen Linse liegt. Sie entwirft für ein akkommodationsfähiges Auge, dessen Drehungspunkt mit jenem Blendenorte zusammenfällt, von einem ebenen Objekt ein scharfes, verzeichnungsfreies Bild. Die Einhaltung einer bestimmten Entfernung zwischen dem Augendrehungspunkt und der benachbarten Linsenfläche ist absolut notwendig, soll eine störende Bildverschlechterung vermieden werden. Dazu ist jede der Verantlupen mit einer Muschel versehen, die möglichst so nahe an das Auge zu bringen ist, daß der Lappen der Muschel den äußersten Augenwinkel bedeckt.

Will man starke Vergrößerungen erzielen, so bedient man sich der von Chevalier vorgeschlagenen und von R. Brücke eingeführten Lupe, welche nach Art eines Opernglases wirkt. Die Brückesche Lupe bildet den Uebergang vom einfachen zu dem aus Objektiv und Okular zusammengesetzten Mikroskope.

5. Apparate mit Okular. Zusammengesetztes Mikroskop und Fernrohr. Wir haben bisher nur Apparate besprochen, welche wie eine einfache Linse wirken und auch praktisch durch eine Sammellinse ersetzt werden können, wenigstens was Ort, Lage und Größe der Bilder betrifft. Wir werden im Fernrohre und zusammengesetzten Mikroskope jetzt Apparate kennen lernen, bei denen die Bilder eine Lage haben, wie sie praktisch durch die Brechung einer

Digitized by Google

einfachen Linse nicht erzielt werden kann. Stets aber lassen sich diese optischen Apparate in ihrer Wirkung auf die zweier einfacher Linsen S_1 und S_2 (Fig. 23) zurückführen, wenn dem Abstande derselben eine gewisse Größe beigelegt wird. Ferner ist stets die erste „Objektiv" genannte Linse positiv, also eine Sammellinse, die zweite, Okular genannte Linse kann dagegen positiv oder negativ, also eine Sammel- oder Zerstreuungslinse sein. Im Prinzip läuft die Wirkung der beiden getrennten Linsen S_1 und S_2 darauf hinaus, daß das Objektiv S_1 vom Objekt ein reelles Bild erzeugt, welches mittels des Okulars S_2 als Lupe vergrößert gesehen wird.

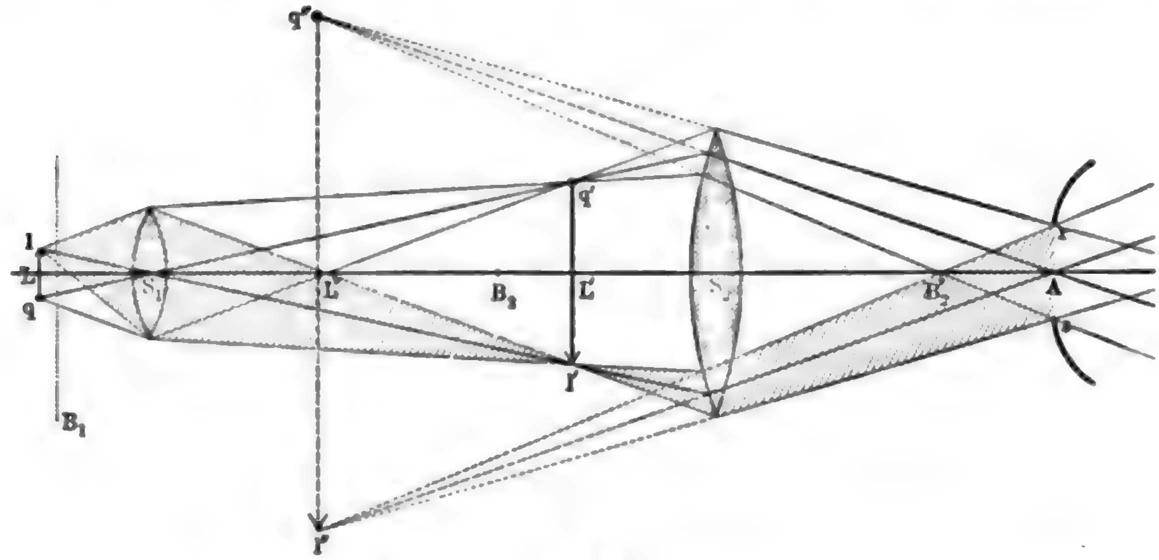


Fig. 23.

5a) Das Mikroskop. Der in Figur 23 skizzierte Strahlengang entspricht demjenigen im Mikroskop, bei welchem der Abstand des Okulars (S_2) vom Objektiv (S_1) beträchtlich größer ist als die Summe ihrer beiden Brennweiten. Man bezeichnet nach Abbe den Abstand der benachbarten Brennpunkte von Objektiv und Okular (genauer den Abstand des hinteren Brennpunktes des Objektivs vom vorderen Brennpunkte des Okulars) als das „optische Intervall". Beim zusammengesetzten Mikroskop ist das Intervall endlich, beim Fernrohr oder Teleskop ist es gleich Null, d. h. die benachbarten Brennpunkte von Objektiv und Okular fallen zusammen („teleskopisches" System).

Von dem kleinen Gegenstande qLl kurz vor der vorderen Brennebene bei B_1 des Objektivs S_1 entwirft letzteres das weit entfernte, reelle, vergrößerte und umgekehrte Bild q'L'l', von welchem das Okular S_2 als Lupe wirkend, in der deutlichen Sehweite L''A des beobachtenden Auges A das virtuelle, nochmals vergrößerte Bild q''L''l'' entwirft.

α) Grund der Trennung in Objektiv und Okular. Arbeitsteilung. Das zusammengesetzte Mikroskop leistet im Prinzip nicht mehr als die Lupe. Um mittels dieser ebenso starke Vergrößerungen zu erzielen wie mit Hilfe des zusammengesetzten Mikroskops, braucht man nur die Brennweite derselben genau so klein zu machen wie die Brennweite des Mikroskops ($S_1 + S_2$ Fig. 23). Dieser Verkleinerung stellen sich aber sowohl in technischer wie in dioptrischer Beziehung unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, während das Mikroskop bei gleich kleiner Gesamtbrennweite auf Linsen S_1 und S_2 von größeren Dimensionen und größeren Einzelbrennweiten führt. Es verteilt sich eben die Vergrößerungswirkung beim Mikroskop auf das Objektiv und das Okular.

Hand in Hand damit geht der Vorteil, eine bessere dioptrische Wirkung, d. h. Strahlenvereinigung herstellen zu können. Wollte man mittels des einfachen Mikroskops oder der Lupe ein Objekt bei voller Oeffnung abbilden, so müßten auch weitgeöffnete Büschel außeraxialer Objektpunkte zur Vereinigung gebracht werden. Dies ist schlechterdings unmöglich. Beim zusammen-

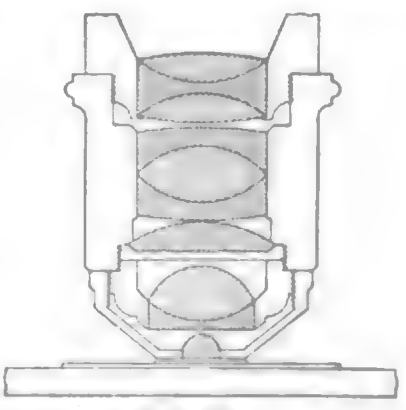


Fig. 24.

Digitized by Google

gesetzten Mikroskop S_1+S_2 dagegen kommt jedem Einzelsysteme S_1 oder S_2 eine ganz spezifische Aufgabe und Leistung zu: Das Objektiv S_1 braucht nur ein Flächenelement lq (Fig. 23) mittels weitgeöffneter Büschel abzubilden, das Okular S_2 dagegen bildet das ausgedehnte Objektivbild q1' mittels enger Büschel ab.

In dieser Teilung der dioptrischen Leistung liegt der Hauptgrund der Ueberlegenheit des zusammengesetzten Mikroskops gegenüber selbst der besten Lupe, wenn man die Güte der Abbildung ins Auge faßt, und zwar nach Abbe selbst schon bei solchen Vergrößerungen, die sich ohne alle Schwierigkeit auch mit der Lupe erreichen lassen. Durch diese Arbeitsteilung wird die Bedeutung der getrennten Einzelsysteme erst ins rechte Licht gesetzt.

Um den Anforderungen genügen zu können, welche an ein Mikroskopobjektiv gestellt werden müssen, verwendet man als Objektiv ein aus vielen Linsen zusammengesetztes System. Figur 24 stellt das als „Apochromat" bezeichnete Mikroskopobjektiv von Zeiß in Jena dar. Damit das Okular den an dasselbe gestellten Anforderungen Genüge leistet, ein ausgedehntes Bild mittels enger Büschel punktweise abzubilden, muß es ebenso wie die besseren Lupen aus 2 oder mehreren Linsen konstruiert werden. Näheres siehe im Artikel „Mikroskopische Technik".

β) Die Leistungsfähigkeit des Mikroskops. Strahlengang. Gesichtsfeld. Helligkeit. Vergrößerung. Auflösungsvermögen. Um die Größe des Gesichtsfeldes, die Helligkeit des Bildes und das Auflösungsvermögen des Mikroskops bestimmen zu können, müssen wir die Art der Strahlenbegrenzung und den dadurch bedingten Verlauf

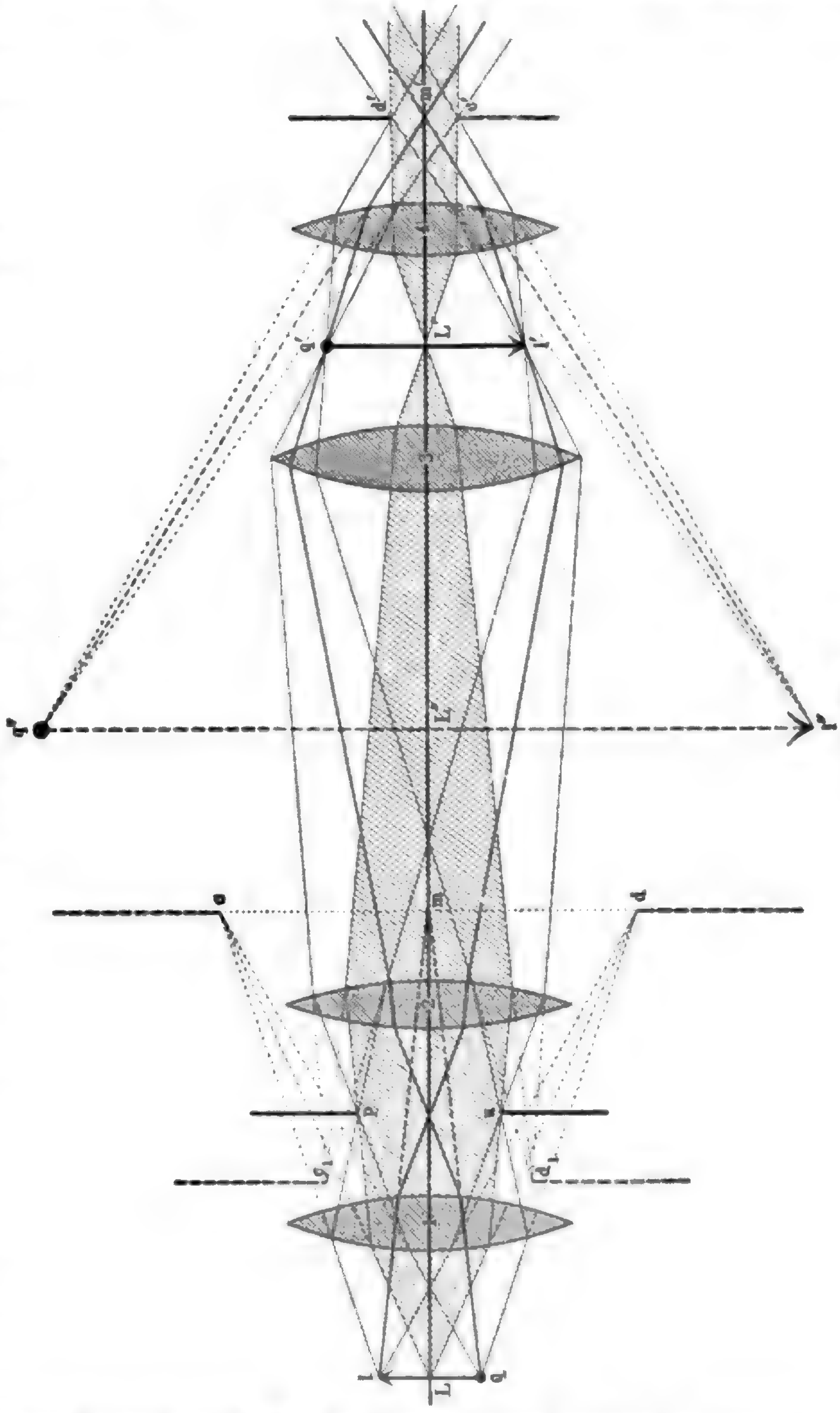


Fig. 25.

der Hauptstrahlen genauer betrachten.

1. Strahlengang und Strahlenbegrenzung. Beides erkennt man aus Figur 25, in welcher die Linsen 1 und 2 das Objektiv,

Digitized by Google

die Linsen 3 und 4 das Okular darstellen und up eine körperliche, die eintretenden Büschel begrenzende Blende bedeutet. Von ihr entwirft die Linse 1 das Bild cmd, welches somit als Eintrittspupille anzusehen ist. Um die Austrittspupille zu finden, müssen wir zunächst das Bild c_1d_1 suchen, welches die Linse 2 von cd entwirft; dieses Bild c_1d_1 ist zugleich Austrittspupille des Objektivs ($S_1=1+2$); suchen wir also zu der Oeffnung c_1d_1 das in Bezug auf das Okular ($S_1=3+4$) konjugierte Abbild c'd', so ist dasselbe die Austrittspupille des gesamten Systems (S_1+S_2).

Zielen die Hauptstrahlen im Objektraume nach der Mitte m der Eintrittspupille, so durchkreuzen sie im Bildraume die Mitte m' der Austrittspupille. Um die Hauptstrahlen herum aber gruppieren sich die Strahlen, welche im Objektraume die Fläche cd, im Bildraume dagegen die Fläche c'd' zur Basis haben. Ist qLl das Objekt, so ist q'L'l' das vom Objektiv S_1 plus Linse 3 des Okulars entworfene reelle vergrößerte Bild, welches durch die eigentliche Okularlinse 4 hindurch vom Auge als virtuelles, vergrößertes Bild q''L''l'' gesehen wird.

In Wirklichkeit handelt es sich beim zusammengesetzten Mikroskop meist nur um die Abbildung nichtselbstleuchtender Körper, welche auf indirektem Wege, sei es durch einen Spiegel oder mit Hilfe des Abbeschen Kondensors, Licht vom Himmel oder einer anderen Lichtquelle erhalten. Hier gestaltet sich die Strahlenbegrenzung etwas anders, insofern die lichtgebende Fläche (Spiegelfläche oder Blende im Kondensor) als maßgebende Eintrittspupille in Wirksamkeit tritt.

Wie dem aber auch sei, in jedem Falle ist beim Mikroskop die Austrittspupille reell und liegt an einer dem Auge zugänglichen Stelle im Bildraume. Dann erscheint die Austrittspupille im Augenpunkte des Okulars als ein kleiner heller Kreis (Okularkreis) c'm'd', den man wie ein reelles Objekt mittels einer Lupe betrachten kann.

2. Gesichtsfeld. Die Lage der Austrittspupille c'd' im zugänglichen Teile des Bildraumes ist ein weiterer wichtiger Vorteil des zusammengesetzten Mikroskops mit positivem Okular gegenüber dem einfachen (Lupe). Bringt man das Auge an den Ort der Austrittspupille, so kommen alle Hauptstrahlen, welche die Austrittspupille durchdringen, auch wirklich ins Auge,[1]) und letzteres wirkt nicht als Gesichtsfeldblende. Die Begrenzung des Sehfeldes erfolgt vielmehr stets durch den Rand einer der Okularlinsen und zwar meist durch die erste Okularlinse (Nr. 3 in unserem Falle), welche darum auch Kollektivlinse genannt wird. Je größer also die Linsen 3 und 4 des Okulars sind, um so größer ist der Bildwinkel oder Gesichtsfeldwinkel. Bringt man am Orte des reellen Bildes p'L'l' eine körperliche Blende an von solcher Größe, daß nur die Hauptstrahlen derjenigen Strahlenbüschel hindurchgelangen, welche aus dem Okular austretend die Austrittspupille c'd' gerade noch ganz ausfüllen, so erscheint das Bild eines gleichmäßig leuchtenden Objektes an allen Stellen gleichhell.

3. Helligkeit des Mikroskopbildes. Nach den Gesetzen über die Helligkeit der optischen Bilder ist die Helligkeit des Mikroskopbildes q''L''l'' dieselbe wie diejenige der direkt gesehenen Objektebene, betrachtet durch die Austrittspupille c'd' als Blende (vgl. den Artikel „Abbildungslehre").

Um die Größe der Helligkeit zu bestimmen, müssen wir die Größe der Austrittspupille c'd' kennen; aus ihr und der Lage der Augenpupille ist dann nach Analogie des Sehens mit bloßem Auge ohne weiteres die Helligkeit des Mikroskopbildes bestimmt. Es möge die Augenpupille koinzidieren mit der reellen Austrittspupille (Okularkreis) des Mikroskops. Dann ist die Helligkeit (H) des Mikroskopbildes im Vergleich zu derjenigen (H_0) des direkten Sehens:

$$H = \frac{r^2\pi}{\varrho^2\pi} H_0 = \frac{r^2}{\varrho^2} . H_0 \quad . . . (1)$$

wenn r bezw. ϱ den Radius der Austritts- bezw. Augenpupille bedeuten.

Beim stark vergrößernden Mikroskop ist stets $r < \varrho$ und somit die Helligkeit H des Mikroskopbildes kleiner als diejenige H_0 des direkt betrachteten flächenhaften Objektes. Aber selbst wenn r größer als ϱ wäre, würde das Bild nicht heller erscheinen als das mit bloßem Auge betrachtete Objekt, da durch keinen optischen Apparat die Helligkeit flächenhafter Objekte größer werden kann als die Helligkeit bei direktem Sehen. Die Gleichung (1) kann man auch schreiben:

$$H = H_0 . \frac{a^2}{\varrho^2} . \frac{d^2}{N^2} \quad . . . . . . (2)$$

wo a die „numerische Apertur" (vgl. den Artikel „Abbildungslehre"), l die deutliche Sehweite und N die Vergrößerung bedeutet, welche laut Definition (Abschnitt 4) gleich der deutlichen Sehweite l dividiert durch die Brennweite F des Mikroskops ist. Die Helligkeit des Mikroskopbildes hängt also einzig und allein von der numerischen Apertur a und der Gesamtvergrößerung N ab. Die Vergrößerung N des Mikroskops ist gegeben, sobald die Brennweite desselben bekannt ist; diese wiederum läßt sich berech-

[1]) Wenigstens solange die Augenpupille größer als die Austrittspupille ist, ein Fall, der beim Mikroskop stets eintritt, insofern die Austrittspupille das stark verkleinerte Bild der Frontlinse des Objektivs ist.

Digitized by Google

nen, wenn die Brennweiten der beiden Bestandteile, Objektiv und Okular, und der Abstand der einander zugewandten Brennpunkte (optisches Intervall) beider Glieder experimentell bestimmt worden ist. Handelt es sich um eine weniger genaue Feststellung der Vergrößerung, so kann man mit Vorteil die schon von Hooke, dem kongenialen Zeitgenossen Newtons, angewandte Methode verwenden.

Man legt unter das Objektiv des Mikroskops an die Stelle des zu betrachtenden Gegenstandes einen sehr feinen, auf Glas geteilten Maßstab (Glasmikrometer), bei welchem die Länge von 1 mm in 20, und wenn es sich um stärkere Vergrößerungen handelt, in 100 gleiche Teile geteilt ist. Während man dieses Mikrometer mit dem einen Auge durch das Mikroskop betrachtet, sieht man mit dem anderen unbewaffneten Auge gleichzeitig nach einem in deutlicher Sehweite befindlichen Maßstabe von bekannter Teilung und vergleicht, wie viel Teilstriche des Maßstabes auf einen Teil des Mikrometers kommen. Das Verhältnis gibt direkt die Vergrößerung an.

4. Auflösungsvermögen. Grenze der Leistungsfähigkeit. Ultramikroskop. Unter dem „Auflösungsvermögen" versteht man den kleinsten Abstand, welchen zwei Punkte des Objektes haben dürfen, damit sie noch getrennt gesehen werden, mit der Bedingung, daß das Objekt und alle seine Einzelheiten absolut ähnlich abgebildet werden. Denken wir uns als Objekt ein Gitter mit dem Abstand γ zweier benachbarter Gitterstäbe (Gitterkonstante γ), so will man nicht nur die einzelnen Gitterstäbe getrennt sehen, sondern man will, daß auch die Konturen usw. der Stäbe richtig, d. h. ähnlich abgebildet sind. In diesem Falle ist für Licht von der Wellenlänge 400 $\mu\mu$ und bei Anwendung eines Objektivs von der numerischen Apertur 1,56 der kleinste Abstand γ zweier Stäbe des noch eben absolut ähnlich abgebildeten Gitters etwa 0,0002 mm oder 0,2 μ.

Als „Grenze der Leistungsfähigkeit" des Mikroskopobjektivs haben wir diejenige Unähnlichkeit fetsgesetzt (vgl. den Artikel „Abbildungslehre"), bei welcher die Gitterstäbe gerade noch getrennt werden, ohne daß man weitere Details erkennen kann, d. h. bei welcher nur die „Struktur" zum Vorschein kommt. Dieser niedrigste Grad der Aehnlichkeit oder maximale Grad der Auflösungsfähigkeit wird bestimmt durch die Beziehung

$$\gamma = \frac{\lambda}{2a}$$

wo λ die Wellenlänge des Lichtes und a die numerische Apertur des Objektivs bedeuten. Für λ=350 $\mu\mu$ und a=1,66 wird γ etwa 0,0001 mm oder 0,1 μ.

Kleinere Distanzen als $^1/_{10000}$ mm erscheinen auch unter dem stärksten Mikroskope als „Punkte" ohne jegliches Detail. An dieser Tatsache ändert auch das „Ultramikroskop" nichts. Nur vermag das Ultramikroskop auch noch in ein Medium eingebettete sogenannte „ultramikroskopische" Teilchen sichtbar zu machen, wenn die Teilchen als solche einen Durchmesser haben, der kleiner als $^1/_{10000}$ mm ist. Aber auch hier ist kein Detail der Teilchen zu erkennen, noch sind zwei solche Teilchen getrennt wahrzunehmen, wenn ihr Abstand weniger als $^1/_{10000}$ mm beträgt.

5b. Das Fernrohr. Astronomisches oder Keplersches Fernrohr. 1. Zweck und Wirkungsweise des Fernrohrs oder Teleskops. In seiner einfachsten Form besteht auch das Fernrohr aus zwei getrennten Linsen S_1 und S_2 (Fig. 23 a. S. 320), bei denen der hintere Brennpunkt des Objektivs (Sammellinse) S_1 mit dem vorderen Brennpunkte des Okulars S_2 zusammenfällt, so daß parallel einfallende Strahlen aus dem Fernrohr parallel austreten („Teleskopisches" System). Die Brennweiten des Fernrohrs als optisches System ($S_1 + S_2$) sind also unendlich groß. Es kann daher auch das Fernrohr in seiner dioptrischen Wirkung nicht durch eine einfache Linse ersetzt werden.

Besteht das Okular S_2 aus einem wie eine Sammellinse wirkenden System, so nennt man das Fernrohr ein „astronomisches" oder Keplersches.

In Figur 26 ist der Strahlengang für das astronomische Fernrohr gezeichnet und zwar für den Fall, daß das Objekt AB in großer, aber endlicher Entfernung gelegen ist. Dann entsteht innerhalb der Brennweite des Okulars vv das umgekehrte, reelle, verkleinerte Bild ab, welches durch das Okular als Lupe als umgekehrtes, virtuelles und vergrößertes Bild a′b′ gesehen wird.

2. Objektiv. Okular. Strahlengang. Strahlenbegrenzung im astronomischen Fernrohre. Okularkreis. Auch beim Fernrohr tritt wie beim Mikroskop eine Arbeitsteilung zwischen Objektiv und Okular ein, derart, daß das Objektiv ein kleines Objekt mittels relativ weitgeöffneter Büschel, das Okular dagegen das relativ ausgedehnte Bild (ab) mittels enger Büschel abzubilden hat. Je besser das Objektiv abbildet, um so stärker kann die Okularvergrößerung und damit die Gesamtvergrößerung durch das Fernrohr gewählt werden.

a) Objektiv. Um die chromatische und sphärische Aberration zu beseitigen, muß man das Objektiv mindestens aus 2 Linsen zusammensetzen. Soll ein möglichst großes

Digitized by Google

Sehfeld scharf abgebildet werden, so muß außerdem die Sinusbedingung (vgl. den Artikel „Abbildungslehre“) erfüllt sein. Damit die Vergrößerung auch für die verschiedenen Farben gleich groß ist, muß die Brennweite der Randzone des Objektivs mindestens für 2 verschiedene Farben gleich groß sein. Wünschenswert ist es bei größeren Fernrohrtypen, daß auch das „sekundäre“ Spektrum (vgl. den Artikel „Lichtdispersion“) beseitigt ist. Allen diesen Bedingungen wird man nur gerecht, wenn man rechnerisch zu Werke geht und mehr als zwei Linsen kombiniert.

b) Okular. Als Okulare verwendet man ebenfalls Systeme von mehreren Linsen, die vor allem eine gleichgroße Brennweite für zwei verschiedene Farben besitzen müssen. Gewöhnlich bedient man sich der aus zwei getrennten Plankonvexlinsen bestehenden Okulare von Huygens oder Ramsden. Die Anordnung der beiden Okularlinsen beim Ramsdenschen Okular ist aus Figur 27 zu ersehen (Linse 1 und 2). Das sogenannte „orthoskopische Okular“ soll vor allem frei von Verzeichnung sein und ist dementsprechend komplizierter konstruiert.

c) Strahlengang und Strahlenbegrenzung. Okularkreis. Aus der Figur 27 ist der Strahlengang und die Strahlenbegrenzung zu erkennen, wobei der Einfachheit wegen als Objektiv S_1 eine einfache Sammellinse gezeichnet wurde. Da hier der Rand cd des Objektivs S_1 die eintretenden Strahlenbündel begrenzt, so bildet er die Eintrittspupille, sodaß sein durch das Okular S_2 entworfenes reelles Bild c'd' die austretenden Strahlen begrenzt; es ist c'd' somit die Austrittspupille. Da diese beim astronomischen Fernrohr reell ist, so erscheint sie als helle Kreisfläche („Okularkreis“ oder „Ramsdenscher Kreis“) vor dem Okular und das Auge kann mit ihr zur Koinzidenz gebracht werden. In diesem Falle gelangen alle Hauptstrahlen (stark gezeichnet) ins Auge, welche auf regelrechtem Wege von m ausgehend die Okularlinsen 1 und 2 passieren können; letztere wirken somit als Gesichtsfeldblenden.

26. Fig.

Damit das Fernrohrbild bis zum Rande gleichhell gesehen wird, bringt man am Orte des reellen Objektivbildes die körperliche Blende P an mit solch kleinem Ausschnitt q'l', daß auch die seitlichsten Bildpunkte q' und l' mit Strahlenbüscheln abgebildet werden, welche noch die ganze Austrittspupille c'd' ausfüllen.

3. Helligkeit flächenhafter Objekte. Normalvergrößerung. Wir nehmen an, daß die Augenpupille am Orte des Okular-

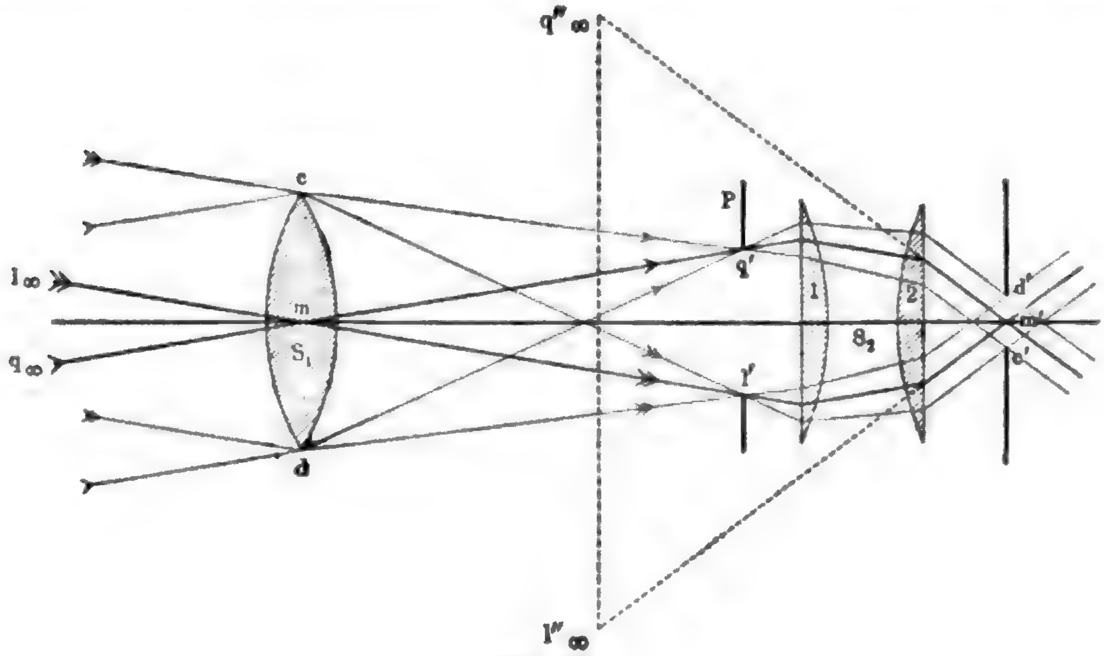


Fig. 27.

Digitized by Google

kreises c'd' (Fig. 27) sich befindet. Dann hängt die Helligkeit des gesehenen Fernrohrbildes nur ab vom Verhältnis der Größe der Augenpupille zur Größe der Austrittspupille (vgl. Abschnitt 3 S. 322). Solange die Augenpupille größer ist als die Austrittspupille (Okularkreis c'd') ist die Helligkeit des Fernrohrbildes gleich derjenigen des direkt d. h. mit bloßem Auge betrachteten flächenhaften Objektes. Allgemein gilt

$$H = H_0 \left(\frac{r}{\varrho}\right)^2$$

wo H die Helligkeit des Fernrohrbildes, H_0 diejenige des mit bloßem Auge betrachteten flächenhaften Objektes, r den Radius des Okularkreises und ϱ den Radius der Augenpupille bedeuten. Für $r=\varrho$ wird $H=H_0$ d. h. das Fernrohrbild erscheint ebenso hell wie das direkt gesehene Objekt. Wir wollen als „Normalhelligkeit" diejenige bezeichnen, mit welcher das Objekt dem bloßen Auge erscheint und diejenige Vergrößerung (Winkelvergrößerung) als die „Normalvergrößerung" bezeichnen, bei welcher die Normalhelligkeit auftritt. Bekanntlich ist die Winkelvergrößerung A eines teleskopischen Systems gleich dem Quotienten aus dem Objektivradius R und dem Okularkreisradius r d. h. $A=R/r$. Setzt man $r=R/A$ in obige Formel ein, so wird:

$$H = H_0 \left(\frac{R}{\varrho}\right)^2 \cdot \frac{1}{A^2}$$

Es werde ϱ (Radius der Augenpupille) als konstant angenommen. Unsere Formel sagt dann aus, daß die Bildhelligkeit H gleich der Normalhelligkeit H_0 wird, wenn $A=R/\varrho$ d. h. $r=\varrho$ ist, da ja allgemein $A=R/r$ gilt. Solange $A=R/\varrho$ ist, wird das Fernrohrbild mit normaler Helligkeit gesehen. Sinkt A unter R/ϱ, so sinkt die Helligkeit des Fernrohrbildes unter die Normalhelligkeit. Wir dürfen $\varrho=2$ mm setzen; dann muß also $R=2$ A sein, soll bei beliebiger Vergrößerung $A=R/r$ das Fernrohrbild mit normaler Helligkeit gesehen werden. Bei einer zehnfachen, hundertfachen usw. Vergrößerung ($A=10$, 100 usw.) muß also $R=20$ mm, 200 mm usw. sein. Durch Vergrößerung des Objektivradius kann also bei beliebiger Vergrößerung des Fernrohrs dem Fernrohrbilde die Normalhelligkeit gegeben werden.

4. Helligkeit punktförmiger Gebilde (Fixsterne). Die Helligkeit eines direkt gesehenen Punktes ist proportional der Größe der Augenpupille und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung des Punktes vom Auge. Dieses Gesetz gilt so lange, als das Bild des Sternes auf der Netzhaut nicht mehr als ein einziges Netzhautelement einnimmt. Jetzt betrachte man den Objektpunkt oder Stern L (Fig. 28) nicht direkt, sondern sein vom System entworfenes Bild L'. Ist cd die Eintrittsund c'd' die Austrittspupille des Systems, so wissen wir, daß alles innerhalb des Oeffnungswinkels cLd vom System gesammelte Licht so geleitet wird, daß es im Bildraume innerhalb des Projektionswinkels c'L'd' verläuft. Bringt man demnach das beobachtende Auge an den Ort der Austrittspupille c'd' (Okularkreis), so dringen in dasselbe sämtliche im Kegel cLd gesammelten Sternstrahlen, falls die Pupille des Auges ebenso groß ist wie die Austrittspupille c'd'. Entsteht von L' auf der Netzhaut ein punktförmiges Bild, so trifft jene ganze Strahlenmenge nur ein Netzhautelement; die Helligkeitsempfindung muß also um so vielmal größer sein im Vergleich zu der des direkt betrachteten Lichtpunktes L, als im Kegel dLc mehr Strahlen verlaufen wie im Kegel d'Lc'.

Da beim Fernrohr der Abstand Lm sehr groß ist, so verhalten sich die beiden Lichtmengen des vom Stern L und von seinem Bilde L' durch die Austrittspupille (Okularkreis) c'd' gelangenden Strahlenkegels einfach wie die Fläche qp zur Fläche cd der Eintrittspupille. Letztere ist mit der Objektivober-

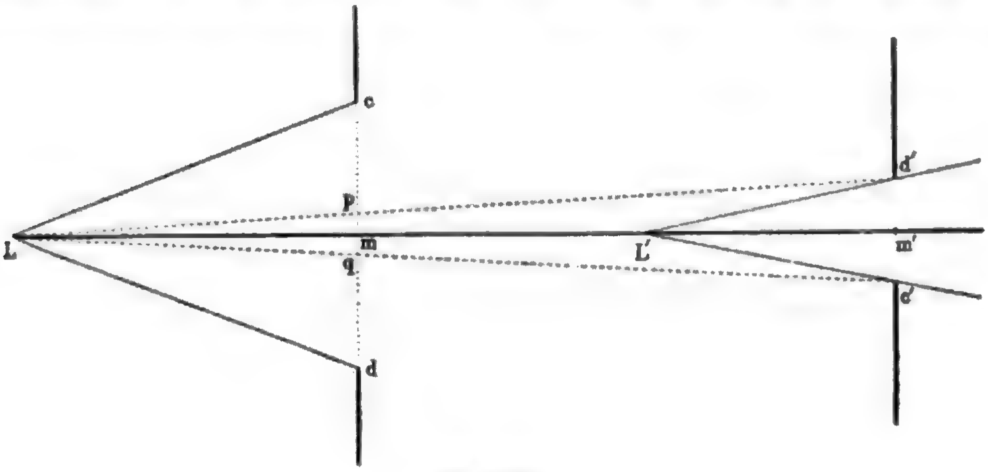


Fig. 28.

fläche, erstere mit der Austrittspupille (Okularkreis und im Falle der Normalvergrößerung mit der Augenpupille) identisch, so daß wir das Resultat erhalten:

Beim teleskopischen System ist die Helligkeit eines Sternbildes für die Normalvergrößerung um so viel mal größer, verglichen mit der Helligkeit des direkt gesehenen Sternes, als die Oberfläche des Objektivs diejenige der Augenpupille an Inhalt übertrifft.

Wächst die Vergrößerung über die normale hinaus, so sinkt bei konstant gehaltenem Objektivradius der Okularkreis unter die Größe der Augenpupille. Da aber alles Licht auch jetzt noch in einem einzigen Netzhautelement gesammelt wird, so bleibt die Helligkeit des Sternbildes trotz wachsender Vergrößerung (über die normale hinaus) konstant.

Ist die Normalvergrößerung eines Teleskops überschritten, so nimmt die Helligkeit eines flächenhaften Objektes ab, diejenige eines punktförmigen Objektes aber bleibt konstant, und zwar gleich derjenigen bei der Normalvergrößerung. Dies ist der Grund, weshalb mittels eines lichtstarken Fernrohres von bedeutender Vergrößerung auch am Tage die Sterne zu sehen sind. Bis zur Normalvergrößerung bleibt eben die Helligkeit der Himmelsfläche dieselbe, als ob dieselbe mit bloßem Auge betrachtet würde; diejenige des Sternes ist aber im Verhältnis von Objektivfläche zur Augenpupille größer. Wächst die Vergrößerung über die normale hinaus, so bleibt die Sternhelligkeit unverändert, die Helligkeit des Himmels nimmt aber ab umgekehrt proportional der Flächenvergrößerung.

5. Aeußere Einrichtung des astronomischen Fernrohrs. Okulardeckel. Blenden. Refraktoren. Aehnlich wie das zusammengesetzte Mikroskop besteht auch das Fernrohr im wesentlichen aus zwei ineinander verschiebbaren Röhren (Fig. 29), von denen die äußere das Objektiv m, die innere das Okular S enthält. Statt des Triebes T sind bei den einfacheren Fernrohren die Rohre lose ineinander verschiebbar. Ehe wir verschiedene Ausführungsformen vorführen, wollen wir auf zwei Einrichtungen aufmerksam machen, welche allen guten Fernrohren und Mikroskopen eigen sind: den Okulardeckel und die richtige Anordnung der Blenden im Rohr.

a) Okulardeckel. Von Bedeutung für den praktischen Gebrauch des Fernrohrs und Mikroskops ist die Okularblende R, durch welche der Okularkreis oder die Austrittspupille körperlich begrenzt und dadurch für das Auge fixiert wird. Diese Blende wird auf das Okular S_2 aufgeschraubt und muß so gearbeitet sein, daß sich nach Befestigung derselben der Ausschnitt sowohl der Größe als der Lage nach mit dem Okularkreise m vollkommen deckt.

Durch den Okularkreis kann nur Licht gelangen, welches das Objektiv und das Okular passiert hat und somit zum Bilde beiträgt; indem man denselben exakt abblendet, erleichtert man nicht nur die Beobachtung, insofern dem Auge die richtige Stellung angewiesen wird, sondern man blendet alles falsche Licht ab, welches von etwa seitlich gelegenen Lichtquellen herkommt.

b) Blenden im Rohre. Von der Gesichtsfeldblende B am Orte, wo das reelle, durch das Objektiv entworfene Bild entsteht, haben wir schon gesprochen. In Fig. 29 liegt sie bei uv und ist so groß gewählt, daß nur diejenigen Bildpunkte gesehen werden, deren Helligkeit die maximale, d. h. diejenige des Achsenpunktes ist. Im Innern des Rohres, welches selbstverständlich möglichst geschwärzt wird, sind noch weitere Blenden angebracht, um auch das an den inneren Wänden reflektierte Licht abzuhalten, natürlich ohne die wirksamen Strahlen abzublenden. Meist ist eine Schutzblende (zw) genügend.

c) Handfernrohre. Refraktoren. Man unterscheidet zwischen Handfernrohren und astronomisch zu gebrauchenden Fernrohren (Fig. 30). Letztere sind an einem Stativ drehbar befestigt, da man Fernrohre mit mehr als zehnfacher Vergrößerung mit der Hand nicht mehr ruhig genug halten kann.

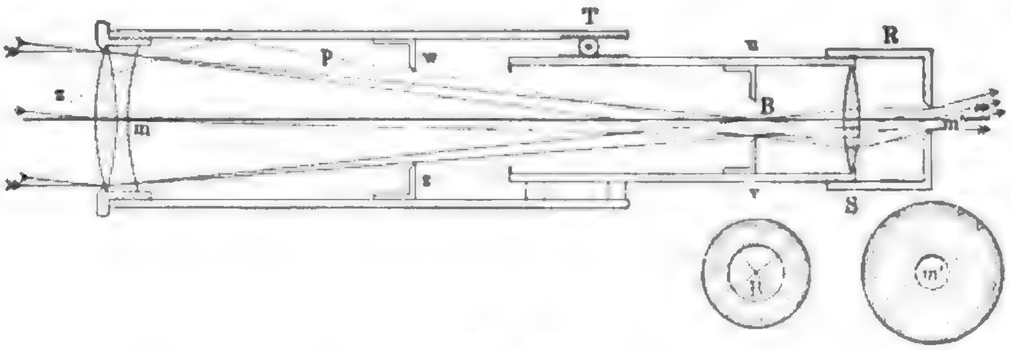


Fig. 29.

Digitized by Google

Wegen der mit starker Vergrößerung unvermeidlich verbundenen Kleinheit des Gesichtsfeldes ist es ungemein schwierig, ein stark vergrößerndes Fernrohr auf einen bestimmten Gegenstand einzustellen, es also z. B. auf einen bestimmten Stern zu richten. Deshalb ist mit solchen größeren Instrumenten ein kleineres Fernrohr von geringerer Vergrößerung („Sucher“) in der Art verbunden, daß die Achsen beider Fernrohre genau parallel sind. Hat man, durch das kleine Fernrohr hindurchschauend, das Instrument so gerichtet, daß der zu betrachtende Gegenstand in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint, so wird er alsdann auch für das größere Fernrohr im Gesichtsfelde sein.

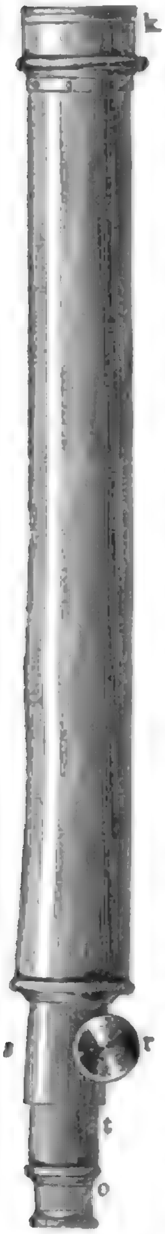


Fig. 30.

Die Fernrohre großer Dimensionen, welche zu astronomischen Beobachtungen dienen, werden mittels Uhrwerkes um die Polarachse so gedreht, daß derselbe Stern stets im Gesichtsfelde bleibt. Diese „parallaktischen Refraktoren“ sind zur Aufstellung innerhalb der in Frage kommenden geographischen Breiten eingerichtet (Verstellung in Polhöhe).

Seitdem die Photographie die subjektive Beobachtung mehr zur Hilfsschwester herabgedrückt hat, mußte auch die Technik diesem Umstande Rechnung tragen. Da aber die Objektive für subjektive Beobachtung anders korrigiert sein müssen als für photographische Aufnahme, so sucht man entweder das Objektiv variabel einzurichten (durch Zuhilfenahme einer dritten „Korrektionslinse“), um es bald dem einen, bald dem anderen Zweck anzupassen, oder man montiert zwei Fernrohre gleichzeitig, von denen das eine photographischen Zwecken, das andere der subjektiven Beobachtung dient.

d) Fadenkreuz. Fadenbeleuchtung. Okularmikrometer. An der Stelle, wo das reelle vom Objekt durch das Objektiv entworfene Bild liegt, bringt man bei den meisten Fernrohren ein Fadenkreuz an d. h. zwei sich rechtwinklig schneidende Fäden (Spinnen-Kokonfäden, feine Quarzfäden usw.), welche auf der Gesichtsfeldblende uv (Fig. 29 S. 326) befestigt sind. Die Verbindungslinie des Fadenkreuzschnittpunktes mit dem zweiten Hauptpunkte des Objektivs repräsentiert die mechanische Achse des Fernrohres. Sie fällt mit der optischen Achse zusammen, falls der Brennpunkt sich mit dem Fadenkreuzschnittpunkte deckt. Gilt es, den Winkelabstand von strichförmigen Objekten auszumessen, wie bei den meisten spektrometrischen Messungen, so bedient man sich mit Vorteil paralleler Fadenpaare von verschieden großer Distanz der Fäden und bringt das Bild des strichförmigen Objekts zwischen ein Fadenpaar.

Die Beleuchtung des Fadenkreuzes spielt eine große Rolle. Sind die zu messenden Objekte lichtstark, wie bei den meisten Spektralbeobachtungen, so ist das ganze Feld hell erleuchtet und die Fäden erscheinen dunkel auf hellem Grunde. Sind die Objekte aber so lichtschwach, daß ihr Licht nicht ausreicht, um das Sehfeld zu erleuchten, so muß eine besondere künstliche Beleuchtung des Fadenkreuzes eintreten. Bei der Abbeschen Beleuchtungsweise erscheinen die Fäden infolge Beugung hell auf dunklem Grunde.

Zur Ausmessung kleiner Distanzen senkrecht zur Fernrohr- oder Mikroskopachse bedient man sich des sogenannten Okular-Schraubenmikrometers (Fig. 31). Das-

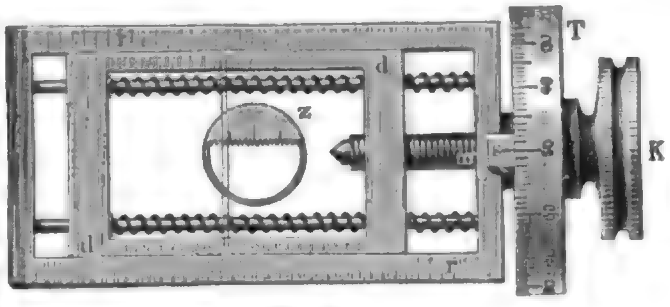


Fig. 31.

selbe besteht aus einem Metallrahmen rr, in welchem ein mit Fadenkreuz oder Parallelfäden versehener Schlitten dd meßbar verschoben werden kann. Die bei m im Rahmen rr festsitzende Mikrometerschraube s nimmt den Schlitten bei einer Drehung mit, welch letztere direkt an der Teilung der Trommel T abzulesen ist. Zur Vermeidung des toten Ganges dienen die beiden Spiralfedern, welche stets den Schlitten nach m hin zu schieben suchen. Ist die Ganghöhe der Schraube $^1/_4$ mm und ist der Trommelumfang in 50 Teile geteilt, so kann noch eine lineare Verschiebung von nur $^1/_{200}$ mm abgelesen werden. Einer ganzen Umdrehung der Trommel entspricht der Abstand je zweier der in der Figur sichtbaren Zähne, deren mittelster als Nullpunkt dient.

6. Spiegelteleskope. Solange man nicht imstande war, achromatische Objektive herzu-

Digitized by Google

stellen, suchte man die Objektive durch Hohlspiegel zu ersetzen, weil das vom Hohlspiegel entworfene Bild in jeder Beziehung farbenfrei ist.

Die verschiedenen Spiegelteleskope unterscheiden sich nur durch die Art und Weise, wie das vom Hohlspiegel erzeugte Sammelbild des entfernten Gegenstandes durch das Okular beobachtet wird. Der Hohlspiegel ss des Gregoryschen Teleskops, Figur 32,

Fig. 32.

hat in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung. Die einfallenden Strahlen werden so reflektiert, daß in a ein reelles verkehrtes Bild des fernen Gegenstandes entsteht; dieses Bild befindet sich nahe dem Brennpunkte des kleinen Hohlspiegels V, durch welchen ein aufrechtes Bild bei b entworfen wird, welches durch die Okularlinie o betrachtet wird.

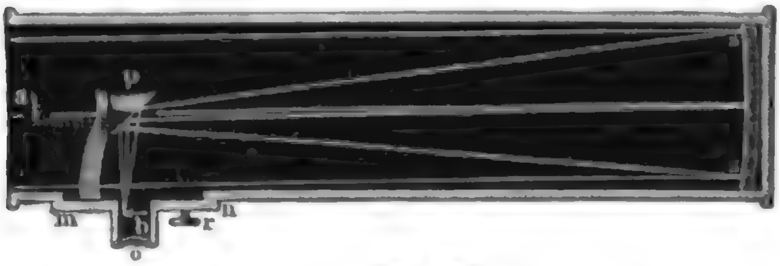


Fig. 33.

Je nachdem die zu betrachtenden Gegenstände näher oder ferner sind, muß der Spiegel V vom Okular entfernt oder demselben genähert werden. Dies geschieht mit Hilfe der Schraube n.

Cassegrains Teleskop unterscheidet sich von dem Gregoryschen dadurch, daß der Hohlspiegel V durch einen Konvexspiegel ersetzt ist, welcher die von dem großen Hohlspiegel kommenden Strahlen auffängt, ehe sie sich zum Bilde vereinigt haben.

Figur 33 stellt ein Newtonsches Spiegelteleskop schematisch dar. Der Hohlspiegel SS würde von dem entfernten Gegenstande ein Bild in a entwerfen; ehe jedoch die Strahlen hierher gelangen, werden sie von einem Planspiegel p (um 45° gegen die Achse des Rohres geneigt) seitwärts reflektiert, so daß das Bild in b wirklich entsteht und durch das Okular o betrachtet werden kann. Die Metallplatte mn mit dem Okular und dem Planspiegel kann durch Ddrehung des Knopfes r parallel zur Achse des Rohres verschoben werden, um eine scharfe Einstellung auf einen bestimmten Gegenstand zu bewerkstelligen.

Bei den Herschelschen Spiegelteleskopen ist kein zweiter Spiegel angebracht. Das durch den Objektivspiegel, welcher etwas schräg gegen die Achse des Instrumentes steht, erzeugte Bild wird unmittelbar durch das am Eingange des Rohres angebrachte Okular betrachtet.

Durch die Erfindung der achromatischen Linsensysteme wurden die kleineren Spiegelteleskope fast vollständig verdrängt, weil sie gegenüber den achromatischen Fernrohren bei gleicher Leistungsfähigkeit ungleich schwerer und unbequemer beim Beobachten sind. Nur bei der Konstruktion ganz großer Instrumente bieten die Hohlspiegel noch Vorteile vor den dioptrischen Objektiven, solange man nicht imstande ist, gute optische Gläser von denselben Dimensionen wie Hohlspiegel herstellen zu können. Dieses Ziel ist auch heute noch nicht erreicht. Darum werden auch heute noch Spiegelteleskope großer Dimension gebaut. Der größte Reflektor wurde 1845 von Lord Rosse für seine Privatsternwarte in Irland erbaut. Der Durchmesser dieses Riesenteleskops beträgt 183 cm (6 Fuß), seine Brennweite 17 m (55 Fuß), die Anordnung ist die Newtonsche. Der Spiegel ist aus sogenanntem „Spiegelmetall" gefertigt. Neuerdings verwendet man Reflektoren aus außen versilberten Glasspiegeln. In Figur 34 ist ein von der Firma Zeiß gebauter Reflektor nach Meyer abgebildet. Hier ist ein neues Montierungsprinzip eingeführt. Die beweglichen Teile der Fernrohrmontierung sind in zwei parallaktische Systeme getrennt: in ein solches, das die optischen Teile trägt und die Einstellung der Objekte nach den Koordinaten

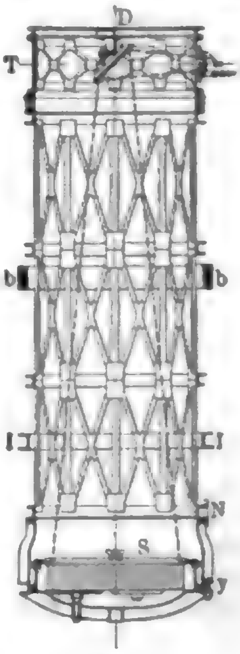


Fig. 34.

Digitized by Google

(Stundenwinkel und Deklination) ermöglicht, und in ein parallaktisches Tragsystem zur Entlastung des Führungssystems.

6. Galileisches Fernrohr (Opernglas). Prismenfernrohre. Feldstecher. 6a. Strahlengang und Strahlenbegrenzung im Galileischen Fernrohre. Während das astronomische Fernrohr im Prinzip aus zwei getrennten Sammellinsen besteht und umgekehrte Bilder liefert, verwendet das Galileische Fernrohr (Fig. 35) als Objektiv eine Sammellinse oo und als Okular *vv* eine Zerstreuungslinse, sodaß vom Objekt AB ein aufrechtes Bild a'b' gesehen wird. Ohne die Okularlinse *vv* würde das Objektiv *oo* vom Objekt AB bei ab ein reelles, verkleinertes und umgekehrtes Bild entwerfen.

Fig. 35.

Die Strahlenbegrenzung geht aus Figur 36 hervor. Auch hier ist wie beim astronomischen Fernrohr das Objektiv cd zugleich Eintrittspupille, also das von cd durch das Okular entworfene virtuelle Bild c'd' Austrittspupille des ganzen Systems. Die in m sich kreuzenden Hauptstrahlen werden bei der Brechung im Okular in ihrer Divergenz vermehrt und scheinen vom Mittelpunkte m' der Austrittspupille zu kommen. Auf ihren Verlängerungen nach rückwärts liegen die virtuellen Vereinigungspunkte l''_∞ und q''_∞ der von den unendlich entfernten Objektpunkten l_∞ und q_∞ ausgegangenen Strahlenbüschel, welche sich in l' und q' schneiden würden, wenn das Oklar S_2 nicht da wäre.

Kann man beim astronomischen Fernrohre das Auge mit dem (weil reellen) Augenkreise zur Deckung bringen, so nicht beim Galileischen mit virtueller Austrittspupille. Hier ist der Vorgang demnach ähnlich wie bei der Lupe. Man sieht das virtuelle Fernrohrbild l''q'' durch die Austrittspupille c'd wie durch eine körperliche Blende. Und damit ist eigentlich nach dem früher Gesagten alles gegeben, was Sehfeld und Helligkeit des Bildes anlangt. Ist die Oeffnung c'd größer als die Fläche der Augenpupille rs, so wirkt erstere als Gesichtsfeld-, letztere als Aperturblende. Die Rollen werden vertauscht, falls rs > c'd' ist. Jedenfalls aber liegt in beiden Fällen die Gesichtsfeldblende um eine beträchtliche Strecke vom Bilde q'l' des Objektes ql entfernt; das Bild wird also in drei Zonen verschiedener Helligkeit gesehen.

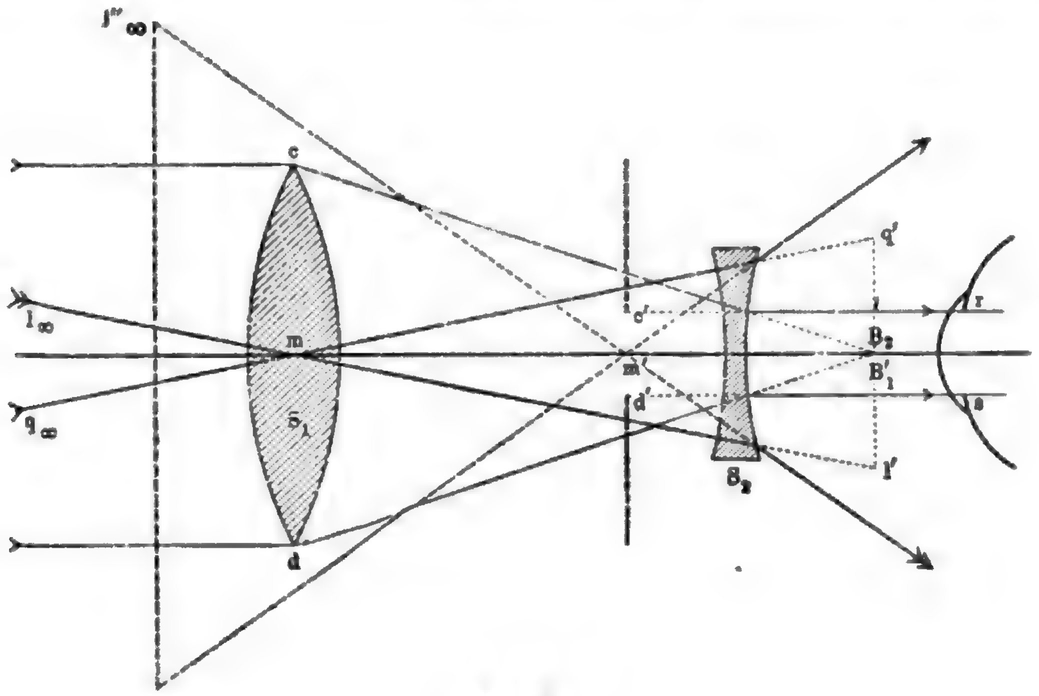


Fig. 36.

Lassen wir das Auge rs ganz an das Okular heranrücken, so faßt es möglichst viel

Hauptstrahlen. Dieser Umstand führte zu der fälschlichen Ansicht über das Sehfeld des Galileischen Fernrohres, daß dasselbe gleich sei dem Pupillendurchmesser des Auges, dividiert durch die Entfernung des Okulars vom Objektiv („Länge“ des Fernrohres).

Die Größe des Gesichtsfeldes erhält man, wenn man von der Augenpupille rs (Fig. 37) ausgeht, das von ihr durch das ganze Fernrohr ($S_1 + S_2$) entworfene Bild r's' bestimmt, letzteres als Eintrittspupille des Systems (Fernrohr plus Augenlinse) betrachtet und den Objektivrand cd als körperliche Blende auffaßt. Alle wirksamen Strahlen müssen durch die letztere hindurch nach der Eintrittspupille r's' zielen. Von dem Größenverhältnis zwischen r's' und cd hängt es also ab, welche Rolle die eine oder die andere Blende spielt. Es ist r's' das teleskopische Bild von rs, also so oft mal größer als rs wie die Angularvergrößerung des Fernrohres angibt. Da beim Opernglase die Vergrößerung relativ klein (2 bis 8) ist, so wirkt, wie es auch Figur 37 erkennen läßt, der Objektivrand als Gesichtsfeldblende und r's' als Aperturblende. Alle Objektpunkte, deren Strahlenbüschel die Eintrittspupille r's' voll ausfüllen, erscheinen also auch in derselben Helligkeit wie beim direkten Sehen ohne Instrument.

Beim Opernglas sind zwei Galileische Fernrohre, eins für jedes Auge, kombiniert. Die Achsen beider Rohre müssen einander genau parallel sein und auch beim Einstellen auf verschiedene Entfernungen einander parallel bleiben.

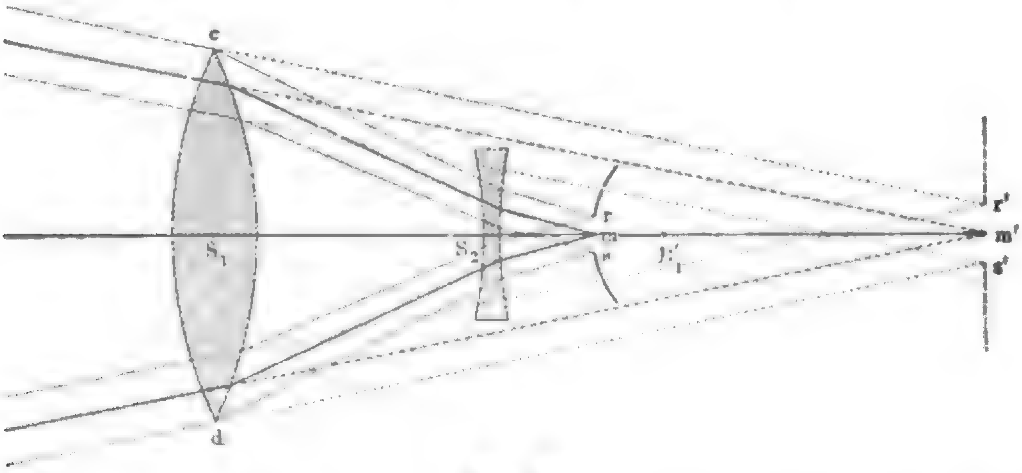


Fig. 37.

Wegen der geringen Vergrößerung ist der Hauptwert zu legen auf die gute Zeichnung außer der Achse, weil das Gesichtsfeld relativ groß ist.

6b. Prismenfernrohre. Das Galileische Fernrohr liefert bei großer Kürze des Rohres aufrechte Bilder. Um beim astronomischen Fernrohr aufrechte Bilder zu erhalten, muß man das sogenannte „terrestrische“ Okular verwenden (Fig. 38), welches vom umgekehrten reellen Objektivbild ab das reelle, aufrechte Bild a'b' entwirft, sodaß auch das Auge mit Hilfe der Linse t als Lupe ein aufrechtes Fernrohrbild sieht.

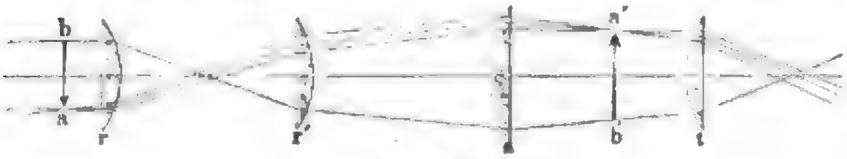


Fig. 38.

Die Prismenfernrohre verbinden die Vorteile des Galileischen und astronomischen Fernrohres, insofern sie bei geringer Rohrlänge ohne Anwendung eines terrestrischen Okulars aufrechte Bilder liefern. Sie entstehen aus einem astronomischen Fernrohr mit positivem Okular, wenn man zwischen Objektiv S_1 (Fig. 39) und Okular S_2 ein Porrosches System von Reflexionsprismen einschaltet, an denen die Strahlen auf dem Wege vom Objektiv S_1 bis zu ihrer Vereinigung (bei l'q') eine viermalige

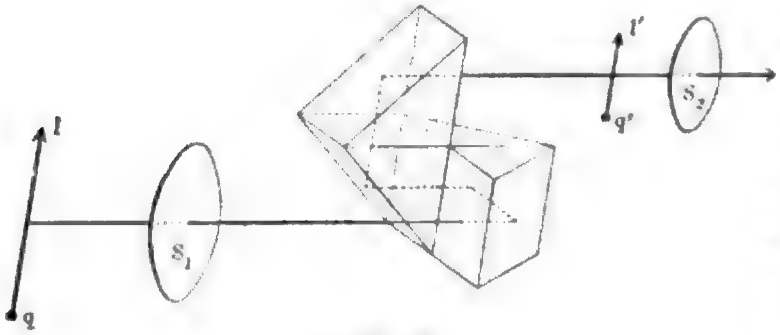


Fig. 39.

Digitized by Google

Totalreflexion erfahren. Hierdurch wird zugleich eine Aufrichtung des Bildes lq bewirkt und eine bedeutende Rohrverkürzung erzielt.

Beschäftigen wir uns zunächst nur mit der Aufrichtung des Bildes. Der Strahlengang für ein Objektiv ist gegeben, wenn derselbe in einer Achsenebene bekannt ist; denn da sich alles um die Achse herum symmetrisch verhält, so erhält man die Abbildung im Raume, wenn man die Achsenebene um die Objektivachse rotieren läßt. Da in einer Achsenebene die Objektpunkte über der Achse sich als solche unterhalb derselben abbilden, so erkennt man aus der Rotation der Achsenebene, daß ein Objektiv oben und unten und zugleich rechts und links vertauscht. Es ist sofort ersichtlich, daß eine zweite Sammellinse von diesem verkehrten Bilde wieder ein in jeder Beziehung aufgerichtetes erzeugt, sobald sie von ihm ein reelles Bild entwirft wie beim terrestrischen Okular.

Komplizierter verhält es sich bei Anwendung von Spiegeln, als welche man die in den Prismenfernrohren gebrauchten totalreflektierenden Prismen aufzufassen hat. Geht die Spiegelung in einer horizontalen Lotebene vor sich (Reflexionsebene horizontal), so wird rechts und links vertauscht, oben und unten bleibt unverändert. Geht die Spiegelung in einer vertikalen Lotebene vor sich (Reflexionsebene vertikal), so wird oben und unten vertauscht, während rechts und links ungeändert bleibt. Soll also sowohl rechts und links als auch oben und unten vertauscht werden, so muß man zwei Spiegelungen kombinieren, eine in einer horizontalen mit einer in einer vertikalen Lotebene. Dies ist schon mittels zweier Spiegel möglich, von denen der eine um eine vertikale, der andere um eine horizontale Achse drehbar ist. Dabei werden aber die anfangs in horizontaler Ebene verlaufenden Hauptstrahlen der Büschel nach der zweiten Spiegelung aus dieser Ebene herausgelenkt. Soll die Bildumkehrung ohne eine Richtungsänderung der Hauptstrahlen erfolgen, so muß eine doppelte Spiegelung sowohl in der vertikalen wie in der horizontalen Ebene vor sich gehen, und zwar in der durch die Figur 39 angedeuteten Weise, wo 4 Totalreflexionen stattfinden.

Aus Figur 39 ist ersichtlich, daß hierbei eine Parallelverschiebung der Achsen der Strahlenbüschel auftritt und infolge der zweimaligen Umkehr der Strahlenrichtung eine Verkürzung des Rohres erreicht wird. Bei zwei solchen zu einem Opernglas oder „Feldstecher" vereinigten Prismenfernrohren ist somit die gedrungene Form gewahrt und der Abstand der Okularachsen kleiner als derjenige der Objektivachsen. Es wird also gleichzeitig ein Gegenstand telestereoskopisch gesehen (vgl. den Artikel „Stereoskopie").

7. Experimentelle Bestimmung der Vergrößerung, des Sehfeldes und der Leistung eines Fernrohrs. Bei Operngläsern und Fernrohren mit schwacher Vergrößerung bestimmt man diese Größen angenähert wie folgt:

7a. Vergrößerung. Man stellt in einiger Entfernung vom Fernrohre einen Maßstab auf und betrachtet diesen gleichzeitig mit dem einen Auge direkt, mit dem anderen durch das Fernrohr; man beurteilt auf diese Weise wie viele Abteilungen des mit bloßem Auge gesehenen Maßstabes auf eine durch das Fernrohr vergrößerte Abteilung fallen und erhält so unmittelbar den Wert der Vergrößerung. Zu dem eben angegebenen Verfahren eignen sich auch die Ziegelreihen eines Daches.

Eine exaktere Methode kann man beim Fernrohr mit reellem Okularkreis anwenden. Da bei einem teleskopischen System die Vergrößerung gleich ist dem Verhältnis der Querschnitte konjugierter achsenparalleler Büschel und da die durch das Objektiv eintretenden Strahlenzylinder als solche durch den Okularkreis austreten, so braucht man nur die Durchmesser von Objektiv und Okularkreis auszumessen, um die Vergrößerung zu erhalten. Die Ausmessung des relativ kleinen Okularkreises geschieht mittels eines Okularmikrometers, welches man vor dem auf Unendlich eingestellten Fernrohrokular montiert. Da der Objektivrand undefiniert ist, befestigt man vor dem Objektiv eine körperlich scharf begrenzte und genau ausmeßbare Blende, deren Bild dann den zugehörigen „Okularkreis" bildet

7b. Sehfeld. Um das Sehfeld auszumessen, montiert man das Fernrohr auf einem drehbaren Kreis, dessen Drehung direkt in Winkelgraden abzulesen ist, und stellt in genügender Entfernung einen Lichtpunkt, etwa eine Kerze, so auf, daß sie mitten im Gesichtsfelde gesehen wird. Hierauf dreht man Fernrohr mit Kreis einmal nach der einen Seite so lange, bis gerade der Lichtpunkt verschwindet, liest den Teilkreis ab, dreht dann nach der anderen Seite, bis wieder der Lichtpunkt verschwindet und liest wieder ab. Die Differenz beider Ablesungen gibt direkt die Größe des Sehfeldes.

7c. Leistung. Um die Leistung eines Fernrohrs zu prüfen, untersucht man dasselbe auf sein Auflösungsvermögen in ähnlicher Weise wie wir es beim Mikroskop kennen gelernt haben. Diese Untersuchung ist nicht ohne Schwierigkeit und führt leicht zu falschen Resultaten. Das Auflösungsvermögen ist

Digitized by Google

nämlich eine Funktion der Intensität der aufzulösenden Lichtpunkte oder der Helligkeitsdifferenz der noch zu unterscheidenden Details. Es wird sich demnach empfehlen, die zu vergleichenden Fernrohre auch darauf zu prüfen, ob sie von den in der Natur vorkommenden Objekten gleich viel Einzelheiten erkennen lassen.

Beim Opernglase kann man mit Erfolg die Auflösungsfähigkeit mit der des Auges vergleichen, wobei man die Bedingung aufstellen darf, daß das Opernglas um so viel mal besser auflösen soll, als das Auge, als seine Vergrößerungszahl angibt. Als Testobjekt benutzt man eine Tafel mit Sehzeichen.

8. Geschichtliches. 8a) Photographisches Objektiv. Es scheint, daß Giambattista della Porta (1538 bis 1615) die von ihm beschriebene Camera obscura mit einfacher Sammellinse als Objektiv auch selbst erfunden hat. Sicher erfand er die Laterna magica. Robert Hooke schlug 1694 die Zeichenkamera vor. Wollaston war der erste, der ein symmetrisches Doublet aus zwei halbkugeligen Linsen mit zwischengestellter enger Blende verwendete.

Den Anstoß zur Achromatisierung der photographischen Linse scheint L. Daguerre gegeben zu haben. Jedenfalls benutzte Daguerre bei seiner Daguerreotypie schon die aus Crownglas und Flintglas bestehende achromatische Linse als Objektiv („Chevaliersche" Linse).

Alle diese Objektive wurden allmählich verdrängt durch das Petzvalsche Porträtobjektiv (1841), welches Voigtländer nach Petzvalschen Berechnungen ausführte. Porro (1801 bis 1875) erfand das Teleobjektiv und das Porrosche Prismensystem.

Einen großen Fortschritt in der Konstruktion der photographischen Objektive bedeutete der von A. Steinheil herrührende „Aplanat" (1868), bei welchem Bildschärfe über ein großes Feld bei relativ großer Lichtstärke erreicht wurde. Eine Erhöhung der erreichten Leistung konnte erst durch die neuen Glassorten der Abbe-Schottschen Glasschmelze in Jena (1886) erzielt werden. Jetzt standen Glasarten mit relativ hohem Brechungsquotienten bei geringer Dispersion (Barytflinte und Barytkrone) und solche mit relativ hoher Dispersion bei kleinem Brechungsquotienten zur Verfügung. Die ersteren Glassorten fanden im Aplanattypus sofortige Verwertung, so daß dieser beachtenswerte Verbesserungen erfuhr.

Aber erst durch das Rudolphsche Prinzip der gegensätzlichen Abstufung der Brechungsquotienten in den beiden Gliedern eines Systems wurde das längst ersehnte Ziel erreicht, große Lichtstärke mit gleichzeitiger anastigmatischer Bildfeldebenung zu verbinden. Seitdem beherrscht der Anastigmattypus den Markt. Aplanate und sonstige ältere Konstruktionen gelten von da an als zweite Qualität.

8b) Fernrohr und Mikroskop. Die geschichtlichen Forschungen haben vergeblich gesucht, den Entdecker des Fernrohres und des Mikroskops ausfindig zu machen. Der Grund liegt wohl darin, daß die Erfindung des Fernrohres nicht das Eigentum eines einzigen ist. So wird als erster Erfinder des Fernrohres von einigen Zacharias Joannides (Jansen), von anderen Joannes Lippershey bezeichnet. Beide waren um die Mitte des 17. Jahrhunderts Brillenmacher in Middelburg in den Niederlanden. Ersterer soll als Kind zufällig beim Spielen mit Brillengläsern zwei derselben in einer Röhre, in welcher sein Vater die Gläser aufzuheben pflegte, so zusammengebracht haben, daß er dadurch den Hahn auf dem Kirchturme seiner Vaterstadt vergrößert sah. Voller Verwunderung zeigte er es seinem Vater, der die Bedeutung des durch Zufall entdeckten Instrumentes richtig erkannte.

Wieder andere aber verlegen die Erfindung des Fernrohres in das Altertum. Denn schon zu Alexanders der Großen Zeiten erwähnt Diodorus Siculus, daß Hekatäus von einer Insel erzähle, auf der man den Mond so nahe sähe, daß man darauf Berge erkenne. Auch findet man in der „historia scholastica" des Petrus Comestor vom Jahre 1096 ein Bild des Ptolemäus, der durch ein längeres, einem Fernrohre ähnliches Instrument, das vier Auszüge hatte, den Himmel betrachtet. Trotzdem ist es zweifelhaft, ob das Fernrohr vor dem 17. Jahrhundert bekannt war. Hierfür spricht auch Keplers Ansicht. Kepler nennt als Erfinder einen Belgier und hält es für wahrscheinlich, daß die Erfindung des Fernrohres durch eine Zeichnung in Portas Paralipomenis ad Vitellonem, S. 202, veranlaßt sei. Dies Werk erschien 1604 und enthält eine Zeichnung, bei der eine Sammel- und eine Zerstreuungslinse auf gemeinschaftlicher Achse gezeichnet sind, freilich bloß, um die Wirkung beider Linsen nacheinander zu demonstrieren. Auch Galilei wird als der Erfinder des nach ihm benannten Fernrohres genannt. Jedoch soll Galilei vorher Kenntnis von der ungefähren Beschaffenheit des Fernrohres erlangt haben und nicht auf theoretischem Wege zum Ziele gelangt sein, wie er selbst behauptet hat. Wie dem aber auch sei, jedenfalls erkannte er zuerst die Bedeutung des Fernrohres und teilte seine Erfindung, entgegen der damaligen Sitte, offen der Welt mit. Er zuerst durchmusterte den Himmel mit seinem Instru-

Digitized by Google

ment, entdeckte die Jupitermonde und machte eine Menge wichtiger anderer astronomischer Entdeckungen.

Kepler bestimmte die Wirkungen des Fernrohres mit einer Sammellinse als Okular auf theoretischem Wege, ohne selbst das nach ihm benannte Fernrohr experimentell auszuführen. Dagegen scheint der Optiker Scheiner (1613) der erste gewesen zu sein, der beide Arten Fernrohre praktisch ausgeführt hat, das Galileische oder holländische mit einem zerstreuenden Okular, und das Keplersche mit einem sammelnden Okular. Das Fernrohr mit dem sogenannten terrestrischen Okular soll Rheita zum Erfinder haben.

Um die Entwickelung des Mikroskops bis zu seiner heutigen Leistungsfähigkeit hat sich E. Abbe am meisten verdient gemacht; mit Recht nennen die Spanier ihn den „Galilei des Mikroskops". Durch die Nutzanwendung seiner „Theorie der Abbildung nichtselbstleuchtender Objekte" hat E. Abbe die Firma Carl Zeiß in Jena zur unbestrittenen Führerin der mikroskopischen Optik gemacht und den Weltruf deutscher Optik begründet.

Literatur. *Geschichtliches: Man vergleiche die Artikel „Abbildungslehre" und „Linsensysteme". Außerdem* **M. von Rohr,** *„Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs", Berlin 1899.*

Zusammenhängende Darstellungen und Originalwerke (vgl. die Artikel „Abbildungslehre" und „Linsensysteme"): Die gegebene Darstellung ist im wesentlichen ein Auszug aus **O. Lummer,** *„Die Lehre von der strahlenden Energie (Optik)", II. Bd., III. Buch von* **Müller-Pouillets** *„Lehrbuch der Physik" 10. Aufl., Braunschweig 1909. Auch die meisten Figuren sind mit gütiger Erlaubnis der Verlagsbuchhandlung diesem Werke entnommen. — In Bezug auf das Mikroskop sei verwiesen auf* **O. Lummer und F. Reiche,** *„Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop nach E. Abbe", Braunschweig 1910. — In Bezug auf das photographische Objektiv siehe:* **O. Lummer,** *„Contributions to Photographic Optics", translated by Sylvanus Thompson. London 1900. — Eine vollständige Literaturübersicht ist gegeben in* **M. von Rohr,** *„Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik". Berlin 1904.*

O. Lummer.

Organe des tierischen Körpers.

1. Definition; Organe; Organsysteme. 2. Zusammensetzung aus Geweben; Funktionen. 3. Wandelbarkeit der Organe in der Phylogenie: Funktionswechsel; Atrophie, außer Funktion gesetzter, Organe oder Organteile; transitorische Organe; rudimentäre Organe; homologe und analoge Organe. 4. Ontogenetischer Entwicklungsgang der Organe. 5. Einteilung der Organe und Organsysteme.

1. Definition. Organe. Organsysteme. Unter „Organen" versteht man, entsprechend dem ursprünglichen Sinne des Wortes *ὄργανον* (= Werkzeug) irgendwelche innere oder äußere Körperbestandteile der vielzelligen[1]) Lebewesen von gesetzmäßiger Aussengestalt, gesetzmäßiger Lagerung und bestimmter, innerer, histologischer Ausgestaltung, die werkzeugmäßig eine besondere Funktion, d. h. Arbeitsleistung, für das lebende Individuum als Ganzes, das wegen seiner Zusammensetzung aus solchen Organen auch als „Organismus" bezeichnet wird, zu verrichten haben; dabei ist allerdings die Werkzeugmäßigkeit der Organe nicht nur in dem Sinne mechanischer Werkzeuge sondern in dem erweiterten auch jeder chemischen, und angesichts der nervösen Organe, auch jeder psychischen und schließlich bedingungsweise auch einer bloß speichernden, sozusagen magazinierenden Apparatur[2])

[1]) Die analogen, nicht die homologen (siehe unten), Körperwerkzeuge bei den einzelligen Protozoen, die immer nur Teile einer einzelnen Zelle sind, nicht aber wie die Organe der vielzelligen Metazoen aus zahlreichen Zellen und meist sogar aus recht verschiedenartigen vielzelligen Geweben bestehen, bezeichnet man als „Organellen" oder „Organoide"; so ist beispielsweise bei Protozoen mit äußerer fester Zellmembran der Zellmund, das Cytostom, ein Ernährungsorganell, das eine Oeffnung in der Zellmembran zur Aufnahme der Nahrung darstellt, und das als ein bloßer Zellteil mit dem, von vielgestaltigen Geweben umkleideten, Munde der Metazoen nur eine analoge physiologische Bedeutung bei der Nahrungsaufnahme, nicht aber einen entsprechenden morphologischen Aufbau gemeinsam hat. Aehnliches gilt von dem Zellafter, Cytoprokt, dem Zellschlund, Cytopharynx, den Empfindungsorganellen, also etwa den Augenflecken (Stigmata), Tastborsten der Protozoen usw.

[2]) So bezeichnet man z. B. auch die als Reservenahrung aufgespeicherten Fettmassen wenigstens dann als ein Organ, wenn sie sich in gesetzmäßiger Gestalt an gesetzmäßiger Stelle finden; so werden das Corpus adiposum, der Fettkörper, bei Insekten und vornehmlich bei Insektenlarven ebensowohl als der fingerförmig gestaltete Fettkörper, der sich bei allen Amphibien in der Nähe der Geschlechtsorgane befindet, wegen ihrer bestimmteren Form als Reserveorgane bezeichnet, wobei es allerdings noch unsicher bleibt, ob wenigstens der Fettkörper der Insekten allein der Fettspeicherung dient oder ob er

zu verstehen. Wie die Organe einerseits hiernach als Arbeitsvorrichtungen zur Lebenserhaltung des Tierganzen dienen und dabei die Existenz desselben in mehr oder weniger ausschlaggebender Weise bedingen, so sind sie selbst auch andererseits wieder bezüglich ihrer Funktion und Ernährung von dem Tierganzen in so weitgehendem Grade abhängig, daß kein aus dem Organismus herausgelöstes Organ für sich allein auf die ihm in normaler Lage zugemessene Lebensdauer hin bestehen kann, so sehr man auch durch günstige Bedingungen sein Absterben hinauszuzögern vermag; ungeschädigt existenzfähig ist es nur, solange das Stoffwechselgetriebe im Organismus keine für das Organ maßgebende Störung erleidet, innerhalb des Organismus selbst. Daraus folgt eine gewisse Abhängigkeit eines Organes von den anderen Organen des gleichen Tierkörpers, also eine wechselseitige Abhängigkeit der Organe, die man als Korrelation bezeichnet (vgl. den Artikel „Correlation").

In den meisten Fällen sind gleichartige oder ähnliche Organe in mehr- oder vielfacher Anzahl in ein und demselben Tierkörper vorhanden, sei es, daß sie als „homotype" Organe bei bilateralsymmetrischen Tieren auf beiden Körperseiten sich in spiegelbildlicher Lagerung und Ausgestaltung gegenüberliegen, wie rechtes und linkes Auge, rechte und linke Niere usw., oder daß sie in mehreren verschiedenen Körpergegenden untergebracht sind und alsdann entweder miteinander in Verbindung treten, wie z. B. die verschiedenen Sinnesorgane durch reizleitende Nervenbahnen in mehr oder weniger indirektem Zusammenhang stehen, oder aber daß sie ohne gegenseitigen Zusammenhang bleiben, wie z. B. die Nierenkanäle oder Segmentalorgane bei den Ringelwürmern. Auf alle Fälle aber bezeichnet man alle Organe, welche übereinstimmende oder eng zusammenhängende Leistungen zu verrichten haben und welche in diesem Sinne gleichartig sind, in ihrer Gesamtheit als ein „Organsystem"; so spricht man von einem Nervensystem, Blutgefäßsystem, Nierensystem usw.

2. Zusammensetzung aus Geweben. Funktionen. Die Organe bauen sich aus Geweben auf (vgl. den Artikel „Gewebe des tierischen Körpers"); man kann in dieser Beziehung ein Organ als einen Gewebekomplex definieren, der sich gegen die übrigen Gewebe abgegrenzt und zur Erzielung bestimmter Funktionen eine in sich abgeschlossene Gestalt angenommen hat. Während der Begriff des Gewebes sich lediglich auf die Beschaffenheit der Bestandteile des Organes bezieht, weist der Begriff des Organes selbst durchaus auf die Form und Begrenzung des betreffenden Körperteiles hin. So ist ein einzelner Muskel ein Organ, das aus einer gewissen Summe von Muskelgeweben besteht, das weiterhin eine bestimmte Form und Begrenzung hat, so daß es aus den übrigen Geweben meist ohne Schwierigkeit als ein Ganzes herauspräpariert werden kann, und das schließlich als bestimmte Funktion eine, von seinen Anheftungspunkten abhängige, Bewegung auszuführen hat; eine Drüse ist ein Organ von röhriger, traubiger oder sonstiger Gestalt (vgl. den Artikel „Drüsen"), das die histologischen Elemente eines Drüsenepithels enthält und die Funktion der Sekret- oder Exkretproduktion[1]) im Tierganzen versieht, u. dgl. m.

Ein Organ ist keineswegs immer nur aus einer Art von Geweben zusammengesetzt, meist beteiligen sich mehrere Gewebearten an dem Aufbau eines Organes, aber fast immer ist es eine besondere Gewebeart, die den physiologischen Charakter des Organes bestimmt und die man darum als Hauptgewebe des Organes bezeichnet; die neben diesem Hauptgewebe vorkommenden Gewebearten eines Organes haben als sogenannte Nebengewebe dagegen die Aufgabe, die Funktion des Hauptgewebes zu unterstützen oder zu ermöglichen; so kann ein Drüsenorgan außer dem, die Sekretionsfunktion allein versehenden, Hauptgewebe, nämlich dem Drüsenepithelgewebe, noch als Nebengewebe folgende enthalten: Bindegewebszüge, welche die einzelnen Drüsenteile kompakter zusammenhalten und stützen, ferner Blutgefäße, welche die Drüse ernähren und solche, die das Ausgangsmaterial, aus welchem das Drüsenepithelgewebe das Sekret herausarbeitet, der Drüse im Blute zuführen, und schließlich auch Nerven, welche die zur Sekretionstätigkeit eventuell notwendigen Reize dem Hauptgewebe zuleiten. Derartige Nebengewebe treten besonders auf höheren

nicht vielleicht auch noch andere Funktionen zu versehen hat und darum schon seine Benennung als Organ rechtfertigt; während das Fettpolster, das als Panniculus adiposus in mehr oder weniger diffuser Verbreitung unter der Haut der Wirbeltiere liegt, oder die Fettmassen, die sich zwischen den Schlingen der Eingeweide unregelmäßig ablagern, nicht zu den Organen gezählt werden, sondern nur akzessorische Bestandteile von solchen darstellen.

[1]) Sekrete sind solche Abscheidungsprodukte von Drüsen, die nach ihrer Abscheidung noch irgendeine Aufgabe im organismischen Getriebe zu erfüllen haben (wie Speichel, Magensaft, Galle), Exkrete solche, die als Abfallprodukte ohne weiteren Beruf in die Außenwelt abgeführt werden.

Digitized by Google

Entwickelungsstufen der Organe in größerer Zahl auf, sie können bei niederen Tieren fehlen; das Verdauungsorgan, der Darm der Wirbeltiere z. B. besitzt außer dem Hauptgewebe des Darmepithels zahlreiche glatte Muskelfasern, Bindegewebe, Blutgefäße, eventuell Lymphgefäße und Nerven, während der Darm mancher niederer Tiere, wie beispielsweise derjenige der Coelenteraten und vieler Würmer nur aus einer einzigen Zellkategorie und Zelllage, dem Darmepithel, besteht.

So wenig ein Organ nur aus einer einzigen Gewebeart zusammengesetzt zu sein braucht, ebensowenig brauchen seine Funktionen durchaus einheitliche zu sein; seine eventuelle Zusammensetzung aus verschiedenen Geweben und außerdem auch eine verschiedene Einordnung im Körperganzen, die verschiedene Beziehungen zu Nachbarorganen ermöglicht, lassen manchmal vielmehr verschiedenerlei Verrichtungen ein und desselben Organes zu; bei den Wirbeltieren z. B. haben sich aus dem embryonal ursprünglich einheitlich angelegten Darmrohr, der Magen, die Leber, und die Bauchspeicheldrüse als besondere Ausscheidungsorgane für die Verdauungssäfte differenziert; während der übrige Darmtraktus, der Darm im engeren Sinne, die von jenen zubereiteten Nährstoffe aufsaugt; bei vielen niederen Tieren dagegen besorgt der dort einheitlich bleibende Darm gleichzeitig Absonderung der verdauenden Säfte und Aufsaugung der Nährstoffe; oder die Nierenkanäle (Nephridien) dienen bei vielen Ringelwürmern in denjenigen Körpersegmenten, in denen gleichzeitig auch Geschlechtsdrüsen untergebracht sind, außer der Entfernung der Exkretstoffe, nebenher vorwiegend oder ausschließlich auch der Ausleitung der Geschlechtsprodukte, in gonadenlosen Segmenten aber nur dem Exkretexport.

3. Wandelbarkeit der Organe in der Phylogenie: Funktionswechsel; Atrophie, außer Funktion gesetzter. Organe oder Organteile; transitorische Organe; rudimentäre Organe; homologe und analoge Organe. Die Mehrseitigkeit der Aufgaben, die ein Organ unter Umständen nebeneinander verrichten kann, führt in zahlreichen Fällen zu einem vollständigen „Funktionswechsel". Ein solcher spielt sich in der Weise ab, daß ein Organ neben seiner ursprünglichen, d. h. von den Vorfahrenreihen überkommenen physiologischen Funktion, eine andere zweite zunächst als Nebenfunktion übernimmt, daß dann aber diese zweite Nebenfunktion allmählich das Uebergewicht über die ursprüngliche Hauptfunktion erhält und letztere dann ganz verdrängt, so besorgt bei den männlichen Amphibien die Urniere, die bei den meisten Fischen lediglich als Harnsystem funktioniert, neben der Abführung der Harnprodukte zugleich auch die Ausleitung der Geschlechtsprodukte; bei männlichen Reptilien, Vögeln und Säugetieren wird dagegen diese Nebentätigkeit, die Ausfuhr der Geschlechtsprodukte, zur einzigen Funktion der Urniere, während ihre ursprüngliche exkretorische Funktion einem neuen Harnorgan überwiesen wird (vgl. auch den Artikel „Funktionswechsel").

Das Eintreten eines Funktionswechsels wird im wesentlichen dadurch bedingt oder gefördert, daß die lebende Substanz im Gegensatz zur unbelebten den während ihrer Arbeitsleistung eingetretenen Zerfall nicht bloß wieder ersetzt, sondern daß sie oft sogar nach dem Zerfall mehr Substanz wieder aufbaut als bei der Arbeit verbraucht worden ist; es findet in solchen Fällen eine „Ueberkompensation des Verbrauchten" statt, um einen Ausdruck von Roux zu gebrauchen. Die Muskeln nehmen bekanntlich durch Gebrauch und Uebung an Masse zu, das gleiche gilt unter günstigen Bedingungen auch für sehr viele andere Organe oder Organteile, und allgemein ist es für den dauernden Bestand der Organe von größter Wichtigkeit, daß ihre Gewebe in Funktion bleiben, denn funktionslos gewordene Organe und Organteile erfahren einen zuweilen raschen meistens aber nur allmählichen Schwund, der zu ihrem gänzlichen Untergange führen kann. Wird beispielsweise durch irgendeine Veränderung in der Lebensgewohnheit oder durch Veränderungen in den Nachbargeweben ein Muskel außer Funktion gesetzt, so schwindet in ihm das eigentliche Muskelgewebe, also das Hauptgewebe, der Muskel aber kann auf Grund eines nunmehrigen Hervortretens der Nebengewebe und ihrer Funktionen zu einer bindegewebigen Sehne werden; es hat also alsdann ein vollständiger Gewebewechsel stattgefunden, das kompliziertere Muskelgewebe ist dem einfacheren Sehnengewebe gewichen; der Funktionswechsel hat sich vollzogen. Derartige Vorgänge, die sich im Laufe der Stammesgeschichte oft ganz allmählich vollziehen, können unter Umständen bei künstlichen Eingriffen oder pathologischen Funktionsstörungen auch sehr rasch eintreten; nach Durchschneidung eines Bewegungsnerven wird der zugehörige Muskel, der durch die Ablösung vom Zentralnervensystem keine Reize zur Arbeitsleistung (= funktionelle Reize) mehr zugeführt erhält, innerhalb weniger Wochen zu einem bindegewebigen Strang umgewandelt und das gleiche kann auch dann eintreten, wenn auch meist nur in geringerem Grade, wenn der Muskel ohne Durchschneidung seines motorischen Nerven auf andere Weise, etwa durch chronische Gelenkentzündung, Geschwülste oder

Digitized by Google

sonstige pathologische Störungen außer Gebrauch gesetzt wird. Das Schwinden eines kleineren oder größeren Gewebekomplexes infolge des Nichtgebrauches oder infolge unzureichender Ernährung bezeichnet man als „Atrophie", einerlei, ob es sich erst in langen Zeiträumen allmählich, oder wie in den letztgenannten Fällen sehr rasch vollzieht. Diese Atrophie braucht sich keineswegs nur auf einzelne Gewebsteile eines Organes zu beschränken sondern kann sich in gleichem oder verschiedenem Grade auf alle Gewebeteile desselben ausdehnen, also das Organ in seiner Gesamtheit treffen; das geschieht vor allem dann, wenn neuartige Lebensbedingungen die Funktion des Organes unmöglich machen.

Treten solche neuartige Lebensbedingungen in dem Entwickelungsgang eines Individuums an gesetzmäßiger Stelle sehr rasch und abrupt an den, noch jugendlichen in Entwickelung begriffenen, Organismus heran, so können auch die durch den Lebenswechsel außer Funktion gesetzten Organe sehr rasch der Atrophie anheimfallen oder sie werden gar von dem in Fortentwickelung begriffenen Organismus teilweise oder auch als Ganzes abgeworfen; man spricht dann von „transitorischen Organen"; sie werden ausgebildet, arbeiten eine Zeitlang und verfallen dann dem Untergang; die Eihäute, die Nabelschnur und die Plazenta der Säugetiere, stellen derartige transitorische Organe dar, welche mit der Luftatmung nach der Geburt preisgegeben werden; die transitorischen Kiemen und Schwimmschwänze der Froschlarven werden beseitigt, bevor der junge Frosch das Wasser verläßt, die Echinodermenlarve wirft ihr Schwebegewand ab, sobald sie von der schwimmenden zur kriechenden Lebensweise übergeht u. dgl. m. Bei weniger plötzlich eintretenden Lebenslageveränderungen, namentlich dann, wenn durch dieselben Organe außer Funktion gesetzt werden, die bei ausgewachsenen Tieren in der früheren Lebenslage in wichtiger Funktion standen, pflegen sich die Rückbildungsprozesse ganzer Organe aber verhältnismäßig langsam zu vollziehen, so daß die in früheren Generationen gebrauchsfähigen Organe in späteren Generationen allmählich in einem Zustand auftreten, in dem sie dem Tierkörper gar keinen erweisbaren Nutzen — in einigen Fällen sogar (siehe unten) recht erheblichen Schaden — zuzufügen vermögen. Man bezeichnet derartig in der Generationenfolge während der Spezieswandlung gebrauchsunfähig gewordene Körperteile als rückgebildete oder „rudimentäre Organe"; sie kommen im Pflanzen namentlich aber im Tierreich ungemein häufig vor, so daß hier nur einzelne besonders charakteristische Fälle als Beispiel für viele angeführt werden können. Das Leben in lichtlosen Höhlen oder in der dunklen Tiefsee hat vielfach die, durch den Lichtmangel außer Funktion gesetzten Augen der dort mehr oder weniger allmählich eingewanderten, verschiedenartigsten Tiere zu rudimentären Organen atrophieren lassen; so besitzt z. B. der Grottenolm (Proteus anguineus) der steiermärkischen Karsthöhlen ein rudimentäres Auge, das zwar noch die Retina aber keine eigentliche Linse und Cornea mehr trägt; ein sehr lehrreiches Beispiel für die stufenweise Rückbildung der Augen mit Zunahme der Dunkelheit im Tiefseegebiet bietet die Krabbe Ethusa granulata. Die im flachen Wasser vorkommenden Tiere tragen durchaus wohlentwickelte Augen auf richtigen Augenstielen, Individuen aus etwa 200 bis 675 m Tiefe haben zwar die Augenstiele noch, aber die Augen selbst sind mehr oder minder stark zurückgebildet, in 900 bis 1300 m aber sind die Tier vollkommen blind und die früher beweglichen Augenstiele sind zu einem festen Stirnstachel verschmolzen. Beim Brunnenflohkrebs (Niphargus putaneus), der in dunklen Brunnen, in unterirdischen Höhlengewässern und auf dem lichtarmen Grunde tiefer Seen lebt, sind die Augen vollständig zurückgebildet, aber das zugehörige Ganglion opticum ist noch als funktionsloses Rudiment des früheren Auges vorhanden. Auch in vielen anderen Fällen so bei Höhlenspinnen, bei Insektenlarven, die in lichtlosen festen Substraten leben, bei Höhlen- und Tiefseefischen und sogar bei Erdröhren bewohnenden Säugetieren (Talpa, Spalax, Neotoma) läßt sich bei Betrachtung verschiedener Spezies ein schrittweises Rudimentärwerden der Sehorgane bis zu eventuellem gänzlichen Schwund derselben konstatieren und immer zeigen die Augenrudimente die Abstammung von augentragenden Vorfahren an.

Wie bei dem Funktionswechsel eines Organs durch Ausbildung einer besonderen Art von Nebengewebe eine Funktion durch eine andere ersetzt wird, so ist in ähnlicher Weise sehr häufig auch das Rudimentärwerden eines ganzen Organs von einer gesteigerten Entfaltung eines anderen Organs oder eines anderen Organsystems begleitet; mit dem Rudimentärwerden der Augen nehmen sehr häufig die Organe des Tastsinnes oder des Geruchsinnes sehr erheblich an Masse und Oberflächenentfaltung zu.

Rudimentäre Organe pflegen besonders stark zu variieren, offenbar weil es für das durchschnittliche Ueberleben des Geeigneteren bei der natürlichen Zuchtwahl wenig darauf ankommt, ob die an sich nicht mehr funktionsfähigen Organe schwächer oder stärker entwickelt sind; durch diese größere Variationsbreite ist zugleich, die Möglichkeit gesteigert, daß sich unter den vorhandenen

Digitized by Google

zahlreicheren Varianten solche finden, die an Stelle der mit dem Rudimentärwerden verlöschenden Funktionen andere Funktionen erfolgreich zu versehen vermögen, so daß auch rudimentär werdende Organe unter besonderen Umständen einen Funktionswechsel erleiden und sich auf neuen Bahnen zu anderen Zwecken umbilden und dadurch dem gänzlichen Schwunde entziehen können; so findet sich beispielsweise bei dem Genus Python unter den Riesenschlangen ein Paar sogenannter Afterklauen, die am Rumpfende in der Kloakengegend zwei Knochenspangen aufsitzen. Diese Spangen sind als Abkömmlinge eines rudimentärgewordenen Beckengürtels nebst reduzierten Extremitäten anzusehen. Die Beckenrudimente mit dem vorstehenden Extremitätenteil haben, ehe sie gänzlich verschwanden, die neue Aufgabe übernommen, bei dem Kopulationsgeschäft die Kloaken der schwerfälligen Schlangenleiber fester zusammenzuhalten und haben dadurch ihre Existenz in der neuen Form von Kopulationsorganen gerettet, während sie bei allen übrigen Schlangen, bei denen die Penisschläuche der Männchen zum Zusammenhalte der Kloaken ausreichen, spurlos verschwunden sind. Letzten Endes läßt sich eigentlich auch jeder andere Funktionswechsel eines Organes mit dem Rudimentärwerden des Hauptgewebes und Ueberhandnehmen eines Nebengewebes in Zusammenhang bringen, man spricht aber von rudimentären Organen oder Organteilen nur dann, wenn die Nutzlosigkeit eines Organes oder Organteiles deutlich hervortritt, und sich dasselbe also nicht, wie beim Funktionswechsel, für andere Funktionen eingerichtet hat; so findet sich bei Wiederkäuern unterhalb der Hornplatte, welche im Zwischenkiefergebiet des Oberkiefers die Zahnreihe nach vornen abschließt, noch im Fötus die Anlage von rudimentären Schneidezähnen, die niemals durch die Mundhaut hindurchbrechen, also nie in Funktion treten und auch sehr bald wieder resorbiert werden; in gleicher Weise treten bei den zahnlosen Bartenwalen während des Fötallebens vollständig nutzlose nie durchbrechende und später wieder schwindende Zahnrudimente auf; am eindringlichsten dokumentiert sich die Nutzlosigkeit rudimentärer Organe aber in solchen Fällen, wo sie augenscheinlich durch ihre minderwertige, von der Zuchtwahl nicht mehr auf der Höhe erhaltene, Ausbildungsweise die Widerstandskraft gegen äußere Schädigungen in so hohem Grade eingebüßt haben, daß sie direkt als schädlich betrachtet werden müssen. Die Plica semilunaris des Menschen, die als Rudiment eines dritten Augenlides, der Nickhaut anderer Vertebraten nämlich, im inneren Augenwinkel sitzt, ist eine Hauptstelle für die Augenbindehautentzündung; die Blinddarmentzündung (Typhlitis), an deren Folgen in jedem Jahre Tausende von Menschen zugrunde gehen, nimmt ihren Ausgang von dem sogenannten Wurmfortsatz des Blinddarmes, der als Rudiment eines bei vielen anderen Säugern sehr stark entwickelten Darmanhanges aufzufassen ist, aber beim Menschen, ebensowenig wie die Plica semilunaris, irgendwelche lebenswichtige Funktion zu versehen hat, denn man kann beide ohne den geringsten Schaden für die Operierten auf operativem Wege entfernen. Die rudimentären Organe lassen sich nur als nutzlos gewordene Erbstücke von oft phylogenetisch sehr weit zurückliegenden Vorfahrenformen verstehen, und erlangen hierdurch eine gewisse historische Bedeutung, sie zeugen von Veränderungen, die während der Stammesentwickelung bei einer Tierart vor sich gegangen sind und geben durch ihre Anknüpfungsmöglichkeit an funktionstüchtige Organe verwandter Tierarten sehr häufig wichtige Hinweise für phylogenetische Ableitungen; zugleich sind sie in vielen Fällen ein Beispiel für die außerordentliche Zähigkeit der Vererbung der Ansätze zu bestimmten Organanlagen, denn in langen Deszendentenreihen erscheinen sie trotz ihrer Unbrauchbarkeit immer wieder; offenbar nur weil die Vorfahrenformen sie besessen haben und weil eben die Ansätze zu ihrer Entfaltung noch nicht aus dem Vererbungsapparat entfernt sind, wenn auch ihre Vollentfaltung wegen mangelnder Funktionierung vielleicht auch wegen ungenügend gewordenen Korrelationsverhältnissen zu anderen Organen nicht mehr erreicht wird.

Auch das Verhalten sogenannter „homologer Organe“ — das sind Organe, die sich (ohne Rücksicht auf ihre physiologische Funktion) in phylogenetischer und morphologischer Hinsicht entsprechen — zeigt deutlich die Zähigkeit der Vererbung ursprünglicher Organanlagen in langen Deszendentenreihen. Diese Homologie, die Uebereinstimmung der Organe in ihrer althergebrachten Organisation und Lagerung also, kann sich auch in einer äußeren Formähnlichkeit Geltung verschaffen; sie braucht dies aber nicht zu tun. Der vererbte morphologische Aufbau hält auch dann Stand, wenn die Organe bei verschiedenen Vertretern eines kleineren oder größeren phylogenetisch zusammengehörigen Tierkreises durch Anpassung ihrer Funktion an andere Verhältnisse der Umwelt ganz verschiedene äußere Gestalten angenommen haben. Der beibehaltene innere Bauplan solcher homologer Organe ist von langher ererbt, die veränderte Funktion aber ist neuzeitlich erworben und hat die äußere Gestalt der überkommenen Baustruktur verändert. So

Digitized by Google

sind z. B. die Vorderextremitäten eines Wales, eines Maulwurfs, einer Fledermaus, eines Hundes und eines Menschen homologe Organe; sie enthalten trotz ihrer weitgehenden äußerlichen Verschiedenheiten durchaus die charakteristischen Erbstücke eines pentadactylen Säugetierarmes, nämlich einen Oberarmknochen, zwei Unterarmknochen, zwei Reihen von Handwurzelknochen, fünf Mittelhandknochen und ebensoviele Reihen von Fingergliedern; beim Wal aber hat dieser Säugerarm durch Anpassung an das Schwimmen die Form einer Flossenplatte angenommen, beim erdwühlenden Maulwurf ist er zur Grabschaufel, bei der Fledermaus zum Stützgestell einer Flughaut, beim Hunde zu einem Lauforgane und beim Menschen zu einem Handwerksorgan geworden. Auch in diesen Fällen wie bei dem eigentlichen Funktionswechsel und dem Rudimentärwerden von Organen ist durch eine Veränderung der Lebensbedingungen eine adaptive Aenderung der Ausgestaltung der Organe eingetreten; man könnte in solchen Fällen von einem „funktionellen Formwechsel" der Organe reden, dessen Unterscheidung von Funktionswechsel im eigentlichen Sinne oder dem physiologischen Funktionswechsel alsdann darin gegeben wäre, daß er sich ohne den dort grundsätzlich notwendigen Gewebewechsel vollzieht.

Das äußerst verschiedenartige Aussehen, das unserem Beispiel zufolge homologe Organe verschiedenartigen Beanspruchungen der Außenwelt gegenüber anzunehmen vermögen, ist wie jede andere Anpassung nur unter Beihilfe der natürlichen Zuchtwahl mit ihren verschiedenartigen Anforderungen, also auf selektionistischer Grundlage entstanden zu denken und es zeigt sich in der Existenz äußerlich oft in so schroffer Unähnlichkeit geformter homologer Organe bei gleichzeitig morphologischer Uebereinstimmung des inneren Aufbaues, wie gewaltig die Externfaktoren der Umwelt die Organisation der Lebewesen, die unter allen Umständen von den, im Inneren des Organismus selbst tätigen, Internfaktoren geschaffen bleibt, der Form nach auf selektionistischem Wege zu beeinflussen vermögen. Ja die selektionistische Wirkung der Externfaktoren, d. i. der lebenswichtigen Außenbedingungen der Umwelt, kann das Werk der physiologischen Internfaktoren in so hohem Grade meistern, daß bei gleichen Außenbedingungen Organe, die phylogenetisch keinerlei Beziehungen zueinander haben, die demnach im gegebenen Sinne in keiner Weise homolog sind, gestaltlich einander ähnlicher werden können als besonders hochgradig verschiedene homologe Organe, bei deren erblich gemeinsamer Herkunft und Konstitution a priori viel eher gesetzmäßige Uebereinstimmung zu erwarten wäre. Man bezeichnet derartige Organe, die stammesgeschichtlich nicht voneinander ableitbar sind, dabei aber unter ähnlichen Außenbedingungen der Umwelt eine ähnliche physiologische Funktion und unter Umständen auch eine ähnliche adaptive Formgestalt angenommen haben, als „analoge" Organe; sie stimmen in physiologischer Hinsicht überein, morphologisch aber nicht; oder anders ausgedrückt, sie stimmen in ihrer Leistung überein nicht aber in ihrer stammesgeschichtlichen Herkunft. Analoge Organe sind z. B. die Kiemen der Muscheln, die Kiemen der Krebse und die Kiemen der Fische, die alle, obgleich sie stammesgeschichtlich durchaus nichts miteinander zu tun haben, durch Anpassung an die gleiche Leistung der Sauerstoffaufnahme aus der im Wasser gelösten Luft, eine äußerlich recht ähnliche Konfiguration angenommen haben; in der gleichen Weise haben die Grabschaufeln der Maulwurfsgrille und diejenigen des Maulwurfs als analoge Organe unter Anpassung an das Grabgeschäft recht ähnliche Formen ausgebildet; obgleich sie phylogenetisch in keiner Weise in Verbindung gebracht werden können.

Analoge Organe brauchen indessen nicht immer in äußerer Formähnlichkeit aufzutreten, so sind die Flügel der Vögel und die Flügel der Insekten bei denen von einer Aehnlichkeit im Aussehen kaum die Rede sein kann, trotzdem analoge Organe, weil sie ohne stammesgeschichtliche Beziehungen die gleiche Leistung zu versehen haben. Analogie und Homologie der Organe schließen sich nicht gegenseitig aus, meistens sind vielmehr die einzelnen Organe in zusammengehörigen Tiergruppen homolog und analog zugleich, auch wenn sie in ihrem Detailbau manche Verschiedenheiten zeigen, wie z. B. die Extremitäten der Einhufer und der ausgestorbenen mehrzehigen Pferde. Die Schwimmblase der Fische und die Lungen der Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere, sind homologe Organe, weil sich die Lungen stammesgeschichtlich von der Schwimmblase der Fische ableiten lassen, sie sind aber nicht analog, da die Schwimmblase als hydrostatischer Apparat eine andere Funktion versieht als das aus ihr hervorgegangene Atmungsorgan der höheren Vertebraten. Analog aber nicht homolog sind dagegen die Kiemen der Fische und die Lungen der übrigen Vertebraten, weil sie beide die gleiche Funktion der Atmung versehen, aber, in verschiedenen Lagebeziehungen aufgestellt, keine stammesgeschichtliche Ableitung voneinander zulassen.

4. Ontogenetischer Entwickelungsgang der Organe. Wie sich in dem Vorkommen sehr abweichend gebauter homologer Organe, sehr

Digitized by Google

ähnlich gestalteter analoger Organe, von rudimentären und von transitorischen Organen das Wechselspiel zwischen der (durch die, zurzeit noch wenig bekannten, physiologischen Internfaktoren vermittelten) Vererbung einerseits und der unter der Selektionswirkung der Externfaktoren entstandenen Anpassung andererseits deutlich in der Stammesgeschichte der Organe zu erkennen gibt, wobei bald die Vererbung bald die durch die Selektion in das Erbgut der Spezies eingeführte und gefestigte Anpassung bei den verschiedenen genannten Organkategorien überwiegt — so wird auch die ontogenetische, d. h. die keimesgeschichtliche Entwickelung der Organe deutlich von den beiden Faktorenkomplexen der Vererbung und der Anpassung beherrscht, jedoch mit der Einschränkung, daß bei der allmählichen Ausbildung eines Organs von seinen embryologischen bis zu seinen endgültigen Zuständen die Anpassung an die Außenwelt meist nur in geringem Grade, dagegen eine andere Anpassungsart, die man als „funktionelle Anpassung" bezeichnet, um so wirksamer hervortritt. Funktionelle Anpassung ist die Steigerung einer Anpassung an eine Tätigkeit durch die Ausübung der Tätigkeit selbst; z. B. das Stärkerwerden eines Muskels infolge häufigen Gebrauches oder die Ausbildung und Vermehrung von Bindegewebsfibrillen in der Richtung eines häufig wirkenden Zuges innerhalb irgendeines Bindegewebsstranges, oder die Steigerung der funktionellen Leistungsmöglichkeit der zu irgendeiner Kunstfertigkeit verwendeten Organe durch häufige Uebung u. dgl. m. Natürlich kann diese funktionelle Anpassung erst dann in Wirksamkeit treten, wenn die Organanlage bereits vorhanden ist; letztere muß also auf dem Wege der Vererbung erst aufgestellt sein, bevor sie von der funktionellen Anpassung weiter ausgearbeitet wird. Nach W. Roux unterscheidet man demzufolge und auf Grund anderweitiger durch die Untersuchungen der Entwickelungsmechanik sichergestellter Erfahrungen drei zeitlich aufeinanderfolgende Perioden in der Ontogenese eines Organes, nämlich erstens: die Periode der ererbten selbständigen Anlage; zweitens: die Zwischenperiode doppelten ursächlichen Bestimmtseins a) durch vererbte selbständige Anlage und b) durch funktionelle Weiterentwickelung und schließlich drittens: die Periode der endgültigen Ausbildung unter dem Einfluß des funktionellen Reizlebens und der durch dieses vermittelten funktionellen Anpassung.[1])

„In der ersten Periode herrschen die rein gestaltend wirkenden Kombinationen von Energien. Später treten die funktionellen Leistungen der Organe hervor. Diese wirken aber zugleich auch gestaltend, indem sie das in der ersten Periode Geschaffene weiterbilden und beim „Lernen" zweckmäßige gestaltliche und strukturelle Anpassungen an neue Funktionsweisen hervorbringen.

Für die wunderbaren Gestaltung regulierenden Leistungen der „funktionellen Anpassung" haben wir eine rein mechanistische Ableitung auf Grund der im Kampfe der Teile des Organismus[2]) mit Notwendigkeit gezüchteten Qualität aller Gewebe" (Roux).

Suchen wir die genannten Organbildungsperioden in die vier schon in früherer Zeit von Karl Ernst v. Baer unterschiedenen aber nicht scharf getrennten Perioden der Embryonalentwickelung nämlich der Perioden 1. der Furchung, 2. der Keimblätterbildung, 3. der Organentwickelung und 4. der histologischen Differenzierung einzuordnen, so ist die Periode der selbständigen ererbten Anlage vorwiegend in der dritten v. Baerschen Periode zu suchen, während die Periode der funktionellen Anpassung sich ungefähr mit der vierten v. Baerschen Periode, also derjenigen der histologischen Differenzierung, decken dürfte.

Das Ei, das den ganzen Tierkörper entwickelt, teilt sich in der ersten v. Baerschen Periode des Furchungsprozesses in zahlreiche Zellen, die sich dann zunächst in der 2. Periode zu zusammenhängenden Zellplatten, zu sogenannten Keimblättern, zusammenordnen. Bei allen Metazoen werden früher oder später nach Ablauf der Furchung zwei Keimblätter gebildet, nämlich eine äußere Schicht, das Ektoderm und eine innere Schicht oder Zellmasse, das Entoderm. Man hat diese Keimblätter als „Primitivorgane" bezeichnet, eine Ausdrucksweise, die sich aber, da ein Organ eine bestimmte physiologische Funktion versehen soll und eine solche für Ektoderm und Entoderm kaum angegeben werden kann, nur dann rechtfertigen läßt, „wenn man die wesentlichste Aufgabe der Primitivorgane, bestimmten Körperschichten den Ursprung zu geben" (Korschelt u. Heider 10. p. 175) als eine Funktion gelten läßt, was im sonstigen

[1]) Die Verschiedenartigkeit der drei Perioden gibt sich z. B. darin zu erkennen, daß in der ersten und zweiten (Zwischen-)Periode eine gesteigerte Blutzufuhr zu verstärktem Wachstum eines Organes Anlaß geben kann; in der dritten Periode aber nicht.

[2]) Der Kampf der Teile im Organismus kommt dadurch zustande, daß die arbeitenden Organe oder Organteile den weniger oder gar nicht arbeitenden Teilen Nährstoffe fortnehmen, die stärker funktionierenden Bestandteile entwickeln sich deshalb kräftiger als die schwächer funktionierenden, für die geringere Nahrstoffmengen übrig bleiben.

Digitized by Google

physiologischen Sinne des Worts gewisse Schwierigkeiten macht.

Bei solcher Auffassung ist die Bildung der Primitivorgane früher als diejenige der übrigen Organe anzusetzen, sie fällt bereits in die zweite v. Baersche Periode der Embryonalentwickelung, wie die Bezeichnung dieser Entwickelungsstufe als Periode der Keimblätterbildung schon anzeigt.

Ob man nun die Bezeichnung von Ektoderm und Entoderm als Primitivorgane gutheißen mag oder nicht, auf alle Fälle geben die beiden Keimblätter die Grundlage ab für jede weitere Organbildung. Durch „differentielles Wachstum", d. h. durch eine ungleiche Wachstumsgeschwindigkeit und Wachstumsdauer der verschiedenen Konstituenten von Ektoderm und Entoderm, entstehen nämlich Faltungen der Keimblätter oder lokalisierte Zellschichtverdickungen derselben, die nach einer mehr oder weniger deutlichen Abgrenzung von den Nachbargeweben sich allmählich, die drei Rouxschen Perioden durchlaufend, histologisch zu Organen ausbauen, oder wie man sich ausdrückt, zu Organen „differenzieren".[1])

Mit der Differenzierung der Organe und ihrer Gewebe ist dann die „Arbeitsteilung" der Organe ermöglicht, so daß jedes Organ eine bestimmte Aufgabe für den Erhaltungsdienst des Individuums versehen kann. So stellen sich die Charakteristika der Organe allmählich während der Embryonalentwickelung in derjenigen Reihenfolge ein, die wir am Eingang dieses Artikels eingehalten haben, erst wird die Formbildung eingeleitet, dann folgt die histologische Differenzierung und als Produkt von beiden schließlich die Ermöglichung einer bestimmten Funktion, d. h. einer Arbeitsleistung, die dem Ganzen dienstbar ist.

5. Einteilung der Organe und Organsysteme. Nach Maßgabe der verschiedenartigen Funktionen, welche die einzelnen Organe im jugendlichen oder erwachsenen Organismus zu versehen haben, unterscheidet man nach altem Herkommen vegetative und animale Organe des tierischen Körpers.

Die vegetativen Organe sind diejenigen der Ernährung und der Fortpflanzung; sie heißen so, weil auch die Pflanze sich ernährt und fortpflanzt. Hierher gehören: 1. das zur Aufnahme und Verarbeitung von außen aufgenommener fester oder flüssiger Nahrungskörper und zur Entfernung unverdauter Rückstände, der Fäkalien, dienende Darmsystem (vgl. den Artikel „Darmkanal"); 2. das Atmungs- oder Respirationssystem, welches dazu dient, dem Körper den zum Leben notwendigen freien Sauerstoff aus der Luft der Atmosphäre oder aus der im Wasser gelösten Luft zuzuführen und das bei den Lebensvorgängen als Ausscheidungsprodukt entstandene Kohlendioxyd zu entfernen, also für die luftlebigen Tiere, die Tracheen und die Lungen, für die wasserlebigen Tiere die Kiemen (vgl. den Artikel „Respirationsorgane"); 3. das Gefäß- oder Cirkulationssystem, das dem Berufe obliegt, den durch die Respirationsorgane aufgenommenen Sauerstoff und die im Darmsystem verdauten und dadurch in gelösten Zustand übergeführten organischen und anorganischen Verbindungen im Körper zu verteilen und den funktionierenden übrigen Organen und Geweben nach Bedarf zuzuführen und außerdem die bei den Arbeitsleistungen entstehenden Oxydationsprodukte, die Stoffe der regressiven Metamorphose des Stoffwechsels, gewöhnlich in gelöstem Zustande, an die zur Ausscheidung oder Exkretion bestimmten Stellen zu bringen; also beispielsweise das Gastrokanalsystem (früher auch Gastrovaskularsystem genannt) der Coelenteraten und das Blut und Lymphsystem (vgl. den Artikel „Cirkulationsorgane"); 4. die Excretionsorgane, welche die Aufgabe haben, die ihnen von den Zirkulationsorganen oder auf andere Weise zugetragenen im Lebensgetriebe entstandenen unbrauchbaren Stoffwechselprodukte in geeigneter Form zur Abscheidung und zur Ausführung nach außen zu bringen.[1]) Hierher: die Wassergefäße (= Protonephridien) der niederen Würmer, die Schleifenkanäle (= Nephridien, Segmentalorgane) der höheren Würmer; die mit dem Herzbeutel in Verbindung stehenden Nieren der Mollusken (bei Muscheln Bojanussche Organe genannt); die Schalendrüse der niederen und die Antennendrüse der höheren Crustaceen; die Malpighischen Gefäße der Insekten und die Nieren der Wirbeltiere

[1]) Diesen Ausdruck gebraucht man, weil bei diesem Ausbau jedes bestimmte Organ zu seiner bestimmten Funktion eine bestimmte Struktur erhält, und darum die verschiedenen Organe desselben Keimblattes eine verschiedene Struktur zugeteilt erhalten, so daß das ursprünglich noch mehr oder weniger einheitliche Strukturbild der Zellen der Keimblätter in seinen einzelnen Organfalten und Organzellkomplexen immer größere Verschiedenheiten annimmt, oder, was dasselbe besagt, während der Organbildung immer differenter wird.

[1]) Die Abfuhrprodukte dieser Organe sind scharf von Fäkalien zu unterscheiden; die Exkrete sind Oxydationsprodukte der lebenden Körperbestandteile, die Fäkalien aber sind streng genommen von anfang an unbrauchbare Fremdkörpermassen, die zwar durch die Arbeit des Darmes nach der Aufnahme verändert worden sein können, nicht aber an dem lebenden Körperbetrieb teilgenommen haben.

Digitized by Google

(vgl. den Artikel „Excretionsorgane"). 5. die, aber nicht immer vorhandene, Leibeshöhle oder die ihr zugehörigen Hohlraumsysteme (vgl. den Artikel „Leibeshöhle" sowie unten). Die seithergenannten fünf Organsysteme stellen zusammen die Ernährungsapparatur, das sogenannte „Nutritorium", des tierischen Organismus dar, während die Geschlechts- oder Genital- oder Sexualorgane, die als 6. Gruppe den vegetativen Organen zugezählt werden, in der Bezeichnung als „Genitalapparat" oder „Propagatorium" ihre eigene Bedeutung ausgedrückt erhalten, die darin besteht, daß sie nicht wie das Nutritorium der Eigenexistenz ihres Trägers, sondern der Fortdauer der Spezies dienen. Die Genitalorgane bestehen immer aus den keimbereitenden Organen, den Gonaden oder Geschlechtsdrüsen, welche als Hoden oder als Eierstöcke die männlichen Samenzellen oder die Eizellen liefern, allermeist treten hierzu dann noch keimabführende Gänge, die sogenannten Geschlechtsleiter[1]), ferner äußere Organe an der Mündung der Geschlechtsgänge, die als äußere Genitalien oder auch, sofern sie wie fast immer im Dienste der Vereinigung beim Geschlechtsakte stehen, als Kopulationsorgane bezeichnet werden. In den Fällen, in denen der Geschlechtsapparat mit dem Excretionsapparat in genetischem und räumlichem Zusammenhang steht, wie bei den Wirbeltieren und auch bei manchen Wirbellosen, faßt man beide Organsysteme unter der gemeinsamen Bezeichnung Urogenitalsystem zusammen (vgl. die Artikel „Geschlechtsorgane" und „Exkretionsorgane").

Die animalischen Organe umfassen im Gegensatz zu den vorher behandelten vegetativen die für tierisches Leben besonders auffälligen Systeme, nämlich erstens diejenigen des Sinnesapparates oder „Sensoriums" mit dem ihm in der Regel zugeordneten, bei der angegebenen Einteilung sonst verwaisten, Integument oder Hautsystem (vgl. den Artikel „Haut"), dem zentralen und peripheren Nervensystem (vgl. den Artikel „Nervensystem") und den Sinnesorganen, die wiederum in verschiedenen durch ihre Namen gekennzeichneten Funktionen, nämlich als a) Gefühls- oder Tastorgane, b) als Geschmacksorgane, c) als Geruchsorgane, d) als Sehorgane oder Augen, e) als statische Organe oder Lageempfindungsorgane oder Statocysten, f) als Gehörorgane und schließlich bei den Fischen auch g) als sogenannte Seitenorgane, hier wahrscheinlich nach neuerer Forschung zur Feststellung von Strömungsverschiedenheiten im Wasser dienend, auftreten können (vgl. den Artikel „Sinnesorgane"). Zweitens werden weiterhin die Bestandteile des Bewegungsapparates, des „Motoriums", zu den animalischen Organsystemen gezählt, also die Muskeln (vgl. den Artikel „Muskulatur"), die Sehnen, die Stützorgane oder die Skelettsysteme (vgl. die Artikel „Stützsubstanzen" und „Skelett der Tiere") und etwa sonst noch vorhandene bei der Bewegung verwendete antagonistische, elastische oder durch Turgeszenz wirksame Vorrichtungen, die in dem Artikel „Bewegungsorgane der Tiere" nachgesehen werden können.

Die Unterscheidung der beiden Gruppen, der animalen und vegetativen Organe, hat sich bis zu einem gewissen Grade auch dadurch bewährt, daß die unter den betreffenden Bezeichnungen zusammengefaßten Organsysteme gleichzeitig eine gewisse Uebereinstimmung in ihrer Lagerung im Tierkörper erkennen lassen, die animalischen Organe finden nämlich ihrem Berufe als Kundschafts- und Bewegungsorgane entsprechend, also als Organe, die mit der Außenwelt zu arbeiten haben, ihre Aufstellung in den mehr peripher gelagerten Körpergegenden[1]); während die vegetativen Organe fast allgemein erstens in ihrer Gesamtheit (Verdauungsapparat, Urogenitalapparat) oder doch wenigstens mit ihren auffälligsten Bestandteilen (Herz und Hauptblutgefäße) eine mehr axiale Lage im Tierkörper einhalten und zweitens außerdem auch dadurch eine gewisse Zusammengehörigkeit bekunden, daß sie bei allen Wirbeltieren, und in ähnlicher Weise auch bei vielen Wirbellosen in einer von dem Lokomotorium umschlossenen Körperhöhle[2]), die

[1]) Die Geschlechtsleiter sind entweder den Gonaden direkt angeschlossen, z. B. fast immer bei dem männlichen Geschlechtsapparat, oder sie nehmen auch die Geschlechtsprodukte erst sekundär durch eine als Ostium bezeichnete am inneren Gangende befindliche Mündung aus der Leibeshöhle heraus auf, sofern die Geschlechtszellen, wie bei dem Ovarium der Vertebraten, aber auch bei manchen Wirbellosen, in die Leibeshöhle hinein entleert werden und aus dieser dann zu ihrer weiteren Entwicklung an andere Stellen überführt werden müssen.

[1]) Das Nervensystem wird fast durchaus in seiner ganzen Totalität vom Ektoderm aus geliefert und bleibt trotz seiner nachmaligen Versenkung in die Tiefe wenigstens in seinen zentralen Hauptbestandteilen nicht allzuweit von der Oberfläche liegen und auch der Bewegungsapparat entwickelt sich (vgl. Hautmuskelschlauch bei Wirbellosen im Artikel „Bewegungsorgane der Tiere") vorwiegend in den peripheren Körperlagen, aus denen heraus er dann noch eventuelle Extremitätenanlagen vorschiebt.

[2]) Die Leibeshöhle trennt sich bei den Wirbeltieren allgemein in zwei Teile: a) die Bauchhöhle (= Peritonealhöhle), welche den Hauptanteil

Digitized by Google

man in der Splanchnologie[1]) als Leibeshöhle oder Coelom (vgl. den Artikel „**Leibeshöhle**“) bezeichnet, gemeinsam eingebettet sind. Die vegetativen Organe stellen somit jenen Inhalt der Leibeshöhle dar, den man als Eingeweide[2]) oder Gedärme[3]) (**Viscera**) auch in der Vulgärsprache bereits in Gegensatz zu dem, das Motorium und Sensorium vorstellenden, übrigen Tierkörper gesetzt hat.

Dabei ist die Leibeshöhle aber keineswegs nur als ein einfacher Unterkunftsraum für die Eingeweide zu betrachten, sondern sie kann selbst wieder mancherlei exkretorische und anderweitige physiologische Funktionen übernehmen, die ihr den Charakter eines besonderen Organs verleihen, das, wie früher schon angedeutet wurde, der vegetativen Organgruppe zugezählt werden muß; eine Zuzählung, die leicht übersehen wird, weil sich die Leibeshöhle durch besondere Dünnwandigkeit und durch die innige tapetenartige Anschmiegung ihrer dünnen Wand an die Organsysteme der Umgebung dem ungeschulten Auge als körperlich abgegrenztes Organgebilde mehr oder weniger vollständig entzieht.

Das Wechselverhältnis, das die animalischen und vegetativen Organe zum Ganzen bindet, läßt sich folgendermaßen kennzeichnen. Das animalische System sorgt im allgemeinen für den Transport des Tierganzen nach geeigneten Nahrungsquellen hin, es übernimmt die Abwehr äußerer Gefahren und sorgt bei der zweigeschlechtlichen Fortpflanzung für die Auffindung des anderen Geschlechts; das vegetative System dagegen ernährt die im animalischen System arbeitenden Organe, ohne deren Arbeit es selbst zugrunde gehen müßte, und ermöglicht die Erhaltung der Art durch Aufbau und Ernährung der Geschlechtszellen.

Literatur. ***O. Bütschli***, *Vorlesungen über vergleichende Anatomie. Leipzig 1910. S. 2 bis 6.* — ***C. Gegenbaur***, *Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. Leipzig 1898 bis 1901. S. 3 bis 13.* — ***A. Goette***, *Lehrbuch der Zoologie. Leipzig 1902. S. 73 bis 91.* — ***O. Hertwig***, *Allgemeine Biologie. 2. Aufl., Jena 1906. S. 410 bis 425; 439 bis 443.* — ***R. Hertwig***, *Lehrbuch der Zoologie. 9. Aufl., Jena 1910.* — ***R. Hesse***, *Der Tierkörper als selbständiger Organismus. In Hesse und Doflein, Tierbau und Tierleben. 1. Bd., Leipzig 1910. S. 39 bis 42; 56 bis 64.* — ***E. Korschelt und K. Heider***, *Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der wirbellosen Tiere. Allgemeiner Teil. 4. Lieferung, Jena 1910. S. 174 bis 178.* — ***A. Rauber***, *Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 6. Aufl., Bd. 1, Leipzig 1902. S. 208 bis 212.* — ***W. Roux***, *Der Kampf der Teile im Organismus. Leipzig 1881.* — ***Derselbe***, *Die Entwickelungsmechanik, ein neuer Zweig der biologischen Wissenschaft. In Vorträge und Aufsätze über Entwickelungsmechanik. Heft 1, Leipzig 1905. S. 94 bis 101.*

L. Rhumbler.

der Eingeweide einschließt und b) die Höhle des Herzbeutels (Pericardialhöhle), die das Herz umschließt; bei den Säugetieren tritt dann noch eine weitere Teilung durch das Zwerchfell ein, welche c) eine Brustfellhöhle (Pleuralhöhle) von der übrigen Leibeshöhle trennt; in letzterer liegen die Lungen und das Herz mit seinem Pericard.

[1]) Splanchnologie ist der Wissenschaftszweig der Eingeweidelehre.

[2]) Zu den Eingeweiden sind demnach zu zählen: Darmsystem, Urogenitalsystem, Herz und Lunge.

[3]) Auch der Vulgärausdruck Kaldaunen wird manchenorts für Eingeweide gebraucht, doch beschränkt man diesen Ausdruck in der Regel auf die eßbaren Gedärme des Rindes.

Organische Chemie.

1. Abgrenzung. 2. Aufgaben der organischen Chemie: a) Vorbereitende Aufgaben. b) Systematik: α) Strukturlehre: Einteilung der Kohlenwasserstoffe, Derivate der Kohlenwasserstoffe, Heterocyclische Verbindungen, Verbindungen mit zwei- und dreiwertigem Kohlenstoff. β) Stereochemie: Spiegelbildisomerie. Geometrische Isomerie. c) Dynamik der organischen Chemie: α) Allgemeine Gesetze. β) Konstitution und chemisches Verhalten: Gruppenreaktionen und Einfluß der Substituenten, Sterische Hinderung, Reaktionerleichternde Gruppen, Substitutionsregelmäßigkeiten.

1. Abgrenzung. Im 17. und 18. Jahrhundert teilte man die Chemie in drei Hauptabschnitte: Mineralchemie, Pflanzen- und Tierchemie. Nachdem **Lavoisier** gegen Ende des 18. Jahrhunderts gezeigt hatte, daß die im pflanzlichen und tierischen Organismus sich findenden Stoffe in gleicher Weise zusammengesetzt sind und die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, ev. auch Stickstoff enthalten und als man fand, daß verschiedene Körper gleichzeitig im Pflanzen- und Tierreich vorkommen, verschmolzen Pflanzen- und Tierchemie zu einem Ganzen, der **organischen Chemie**. Dieser stand die **anorganische Chemie** gegenüber und es schien eine Zeitlang, als trennte eine unüberschreitbare Kluft die beiden Disziplinen. Denn man konnte die anorganischen Verbindungen nicht nur in ihre Elemente zerlegen, sondern aus denselben auch wieder aufbauen, während die Synthese einer organischen Verbindung in keinem Falle gelungen war. Die Mehrzahl der Chemiker hielt damals diese Aufgabe sogar für prinzipiell unlösbar, da man meinte, daß andere Gesetze das Geschehen in der anorganischen und in der organischen Natur regelten. Organische Verbindungen sollten nur unter dem Einfluß einer besonderen, ihrer Natur nach unbekannten **Lebenskraft** entstehen.

Digitized by Google

Im Jahre 1828 gelang es zuerst F. Wöhler, ein wichtiges Produkt des tierischen Stoffwechsels, den Harnstoff, künstlich aus cyansaurem Ammonium herzustellen. Diese Synthese hatte nicht sofort einen Umschwung der Ansichten zur Folge. Erst die zunehmende Beschäftigung mit organischer Chemie und die erfolgreiche Darstellung anderer einfacher organischer Verbindungen aus den Elementen brachen der Ueberzeugung Bahn, daß dieselben Gesetze für die Umwandlung anorganischer Stoffe und für die chemischen Vorgänge im lebenden Organismus Geltung haben. Gegen Mitte des 19. Jahrhunderts hatte diese Anschauung allgemeine Geltung erlangt.

Organische Chemie ist demnach zu definieren als Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Die Abgrenzung gegen die anorganische Chemie wird nicht durch eine prinzipielle Verschiedenheit der Fundamente gefordert, sondern beruht ausschließlich auf Gründen der Zweckmäßigkeit. Die Grenzlinie ist nicht ganz scharf. In der anorganischen Chemie behandelt man mit den übrigen Elementen auch das Element Kohlenstoff mit seinen allotropen Formen, sowie die einfachsten Verbindungen desselben, soweit dies zur Charakterisierung des Elementes und seiner Stellung im periodischen System erforderlich ist.

Die Teilung der Chemie in anorganische und organische Chemie ist zweckmäßig schon wegen des außerordentlich großen Umfanges der Chemie der Kohlenstoffverbindungen — man kennt heute deren mehr als 150 000 — ferner wegen gewisser Besonderheiten im Verhalten der organischen Verbindungen und schließlich wegen der viel größeren Rolle, die das Problem der Konstitution bei der theoretischen Behandlung der Kohlenstoffverbindungen spielt.

Derjenige Zweig der organischen Chemie, aus welchem heraus sich ursprünglich das Gesamtgebiet entwickelt hat, nämlich die Erforschung der Stoffe, aus welchen sich der pflanzliche und tierische Organismus zusammensetzt, hat sich mit der erweiterten Aufgabe, auch die im Organismus sich abspielenden chemischen Vorgänge zu studieren, im Laufe der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts als physiologische Chemie mehr und mehr von der allgemeinen organischen Chemie losgelöst und als selbständige Disziplin entwickelt.

2. Aufgaben der organischen Chemie. Diese sollen hier nach folgenden Gesichtspunkten besprochen werden. Zuerst wird erörtert, wie es gelungen ist, das riesengroße Material an Verbindungen, welche das Objekt der organischen Chemie sind, unter einheitlichen Gesichtspunkten zu ordnen — Systematik, chemische Statik der organischen Chemie —; der zweite Abschnitt ist dann der chemischen Umwandlung der organischen Verbindungen gewidmet und hat die Gesetzmäßigkeiten darzulegen, welche das Studium der chemischen Vorgänge ergeben hat — Dynamik.

2a) Vorbereitende Aufgaben. Als vorbereitende Aufgabe der organischen Chemie kann betrachtet werden die Ausarbeitung einer Methodik, welche zum Ziele hat, aus Gemischen organischer Verbindungen, wie sie in der Natur vorliegen oder wie sie bei der Laboratoriumsarbeit entstehen, reine Stoffe herzustellen, sie voneinander zu trennen, ihre Zusammensetzung zu ermitteln und ihr Molekulargewicht zu bestimmen, ferner die Charakterisierung der reinen Stoffe durch das Studium der physikalischen Eigenschaften.

Bezüglich des ersten Punktes sei auf den Artikel „Chemische Arbeitsmethoden" verwiesen. Im allgemeinen kann gesagt werden, daß die Arbeitstechnik der organischen Chemie als hochentwickelt gelten kann und auch vor der Isolierung und Reindarstellung sehr zersetzlicher und subtil zu behandelnder Stoffe nicht zurückschreckt, insofern es sich um kristallisierende oder unzersetzt destillierende Verbindungen handelt. Dagegen ist die Aufgabe, amorphe und nicht flüchtige Stoffe voneinander zu trennen und präzis zu charakterisieren, im allgemeinen kaum durchführbar, wenn es nicht gelingt, sie in kristallisierbare oder flüchtige Derivate zu verwandeln.

Die Aufgabe, die Elementarzusammensetzung organischer Stoffe zu ermitteln, ist durch elegante und bequeme Methoden restlos lösbar. Vgl. darüber den Artikel „Chemische Analyse (organische Analyse)". Als physikalische Konstanten, die zur exakten Charakterisierung organischer Stoffe dienen, kommen vor allem in Betracht: Schmelzpunkt und Siedepunkt, ev. Kristallform, ferner spezifisches Gewicht und Löslichkeit. Von großer Wichtigkeit sind die optischen Eigenschaften: Molekularrefraktion und Dispersion, optisches Drehungsvermögen, Lichtabsorption und Fluoreszenz. Von Interesse sind ferner die Dielektrizitätskonstante, das magnetische Drehungsvermögen und die elektrische Leitfähigkeit. Thermochemische Messungen sind im Gebiete der organischen Chemie vorzugsweise in Form der Bestimmung der Verbrennungswärmen ausgeführt worden.

2b) Systematik. Die Systematik der organischen Chemie ist begründet auf die Strukturlehre oder Lehre von der Konstitution der Verbindungen. Diese hat ihrerseits die Atom- und Molekularhypothese

Digitized by Google

zur Voraussetzung[1]) und hat sich auf dieser Basis entwickelt auf Grund der Vorstellung, daß sich die Atome im Molekül nicht beliebig durcheinander bewegen, sondern durch gewisse Kräfte — Valenzkräfte — in bestimmter gegenseitiger Stellung festgehalten werden. Diese Auffassung wird notwendig durch die Erscheinung der Isomerie (vgl. den Artikel „Isomerie". Denn die Tatsache, daß Stoffe existieren, welche bei gleicher Zusammensetzung und gleicher Molekulargröße in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften gänzlich voneinander abweichen, weist — vom Standpunkt der Atomhypothese aus betrachtet — zwingend darauf hin, die Ursache dieser Erscheinung in der verschiedenen Anordnung der Atome im Molekül zu suchen. So erwächst die Aufgabe, neben der empirischen Formel, welche die Zusammensetzung einer Verbindung in Atomzahlen ausgedrückt angibt, noch eine rationelle Formel aufzustellen, welche über die Art der Verteilung der Atome im Molekül etwas aussagt.

Ueber die Geschichte dieses Problems vergleiche den Artikel „Konstitution". Das Problem, die Gruppierung der Elementaratome im Molekül zu erforschen, zerfällt wieder in zwei Teile: Es ist zu untersuchen, in welcher Reihenfolge die Atome im Molekül angeordnet sind, die „Bindungsweise" derselben ist zu ermitteln. Das ist die Aufgabe der Atomverkettungslehre oder Strukturlehre. Es ist ferner die räumliche Lagerung der Atome im Molekül, ihre Konfiguration zu erforschen. Damit beschäftigt sich die Stereochemie.

a) Strukturlehre. Die wichtigsten Grundsätze der modernen Strukturlehre sind folgende:

1. Das Kohlenstoffatom ist vierwertig, d. h. es vermag vier einwertige Atome oder Atomgruppen unmittelbar zu binden. Der einfachste Kohlenwasserstoff, das Methan bekommt demnach die Strukturformel $C{<}\begin{smallmatrix}H\\H\\H\\H\end{smallmatrix}$

Von diesem leitet man alle anderen Kohlenstoffverbindungen ab, indem man sich die einzelnen Wasserstoffatome durch einwertige Elemente oder Radikale substituiert denkt.

Während die allgemeine Durchführung der Wertigkeits- oder Valenzlehre (vgl. den Artikel „Valenzlehre") auf gewisse Schwierigkeiten stößt, da die Mehrzahl der Elemente vielfach wechselnde Valenz aufweisen, hat sich in der Chemie der Kohlenstoffverbindungen eine viel größere Einheitlichkeit ergeben. Für die überwältigende Mehrzahl aller organischen Verbindungen lassen sich Konstitutionsformeln aufstellen, auf Grund der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs. Es existiert nur eine kleine Gruppe, in welcher man zweiwertigen und eine andere kleine Kategorie, in welcher man dreiwertigen Kohlenstoff anzunehmen gezwungen ist.

2. Die vier Valenzen des Kohlenstoffs sind untereinander gleich. Dieser Satz bringt zum Ausdruck, daß es gleichgültig ist, welches der vier Wasserstoffatome des Methans substituiert wird, und umschreibt so die feststehende Tatsache, daß es keine isomeren Verbindungen von der Zusammensetzung CH_3R gibt, wobei R ein bestimmtes Atom oder eine Atomgruppe bedeutet.

Einteilung der Kohlenwasserstoffe (vgl. dazu die Artikel „Aliphatische Kohlenwasserstoffe", „Aromatische Reihe", „Systematik" usw.).

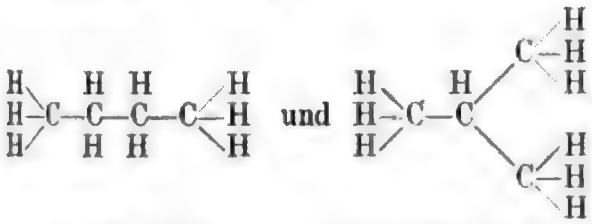
I. Offene Ketten. Unter der Voraussetzung der Vierwertigkeit des Kohlenstoffes läßt sich für den Kohlenwasserstoff C_2H_6, das Aethan, nur eine einzige Strukturformel ableiten $\begin{smallmatrix}H\\H\\H\end{smallmatrix}{>}C{-}C{<}\begin{smallmatrix}H\\H\\H\end{smallmatrix}$, in welcher 2 Kohlenstoffatome durch eine Valenz miteinander verknüpft sind, während die sechs übrig bleibenden Valenzen durch Wasserstoff besetzt sind. Im Aethan kann man wieder ein Wasserstoff durch CH_3 ersetzen und gelangt so zum Propan $\begin{smallmatrix}H\\H\\H\end{smallmatrix}{>}C{-}\overset{H}{\underset{H}{C}}{-}C{<}\begin{smallmatrix}H\\H\\H\end{smallmatrix}$, in dem 3 Kohlenstoffatome zu einer Kette vereinigt sind. Diese Art der Substitution läßt sich beliebig oft wiederholen und man kommt auf diese Weise zu einer Reihe von Kohlenwasserstoffen, in welcher sich jedes Glied von dem vorhergehenden dadurch unterscheidet, daß es an Stelle eines Wasserstoffatoms eine CH_2-Gruppe enthält, also um CH_2 reicher ist. Man nennt solche Verbindungen homolog und spricht von einer homologen Reihe. Die Zusammensetzung der auf diese Weise vom Methan abgeleiteten Kohlenwasserstoffe läßt sich durch die allgemeine Formel $C_nH_{2n}+2$ ausdrücken. Man bezeichnet sie als die Grenzkohlenwasserstoffe oder Paraffine. Die Fähigkeit zur Bildung homologer Reihen von beliebiger Ausdehnung ist ein besonderes Charakteristikum des

[1]) Zur Beantwortung der oft diskutierten Frage, ob es einmal möglich sein werde, eine Systematik der organischen Verbindungen zu schaffen, welche sich nicht auf die Atomhypothese aufbaut, ob also ein hypothesenfreie zusammenfassende Beschreibung der Tatsachen der organischen Chemie möglich sei, fehlt es zur Zeit an Anhaltspunkten. Bisher sind Erfolge nur durch konsequenten Ausbau der atomistischen Vorstellungsweise erzielt worden.

Digitized by Google

Kohlenstoffs. Bei keinem anderen Element ist die Befähigung der Atome zur Selbstbindung in auch nur annähernd so hohem Maße ausgebildet. Die längste bisher dargestellte Reihe von Kohlenstoffatomen findet sich im Hexakontan, das 60 Kohlenstoffatome in fortlaufender Kette enthält: $H_3C(CH_2)_{58}CH_3$. An Stabilität steht dieser Kohlenwasserstoff den niedrigeren Gliedern kaum nach, so daß kein Grund vorhanden ist, eine bestimmte Grenze für die Möglichkeit der Kettenausdehnung vorauszusetzen.

Gerade und verzweigte Ketten. Die Formel des Propans läßt 2 Möglichkeiten voraussehen, H durch CH_3 zu ersetzen:

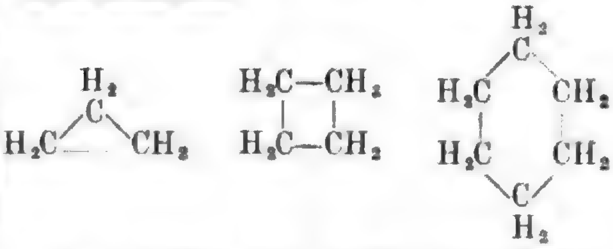


gerade Kette verzweigte Kette

Tatsächlich kennt man auch 2 Kohlenwasserstoffe von der Zusammensetzung C_4H_{10}, welche diesen beiden Strukturbildern entsprechen. Kohlenwasserstoffe mit gerader Kette nennt man auch normale Kohlenwasserstoffe. Mit wachsender Kohlenstoffzahl nimmt die Anzahl der isomeren Kohlenwasserstoffe zu; für C_5H_{12} lassen sich 3, für C_6H_{14} 5 Isomere voraussehen usf. Nichts spricht so sehr für die Zweckmäßigkeit der Strukturlehre als die Tatsache, daß diese Aussagen der Theorie durch das Experiment durchaus bestätigt werden.

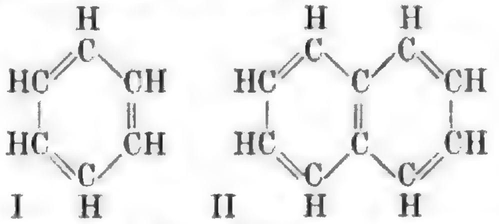
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Man kennt keine Kohlenwasserstoffe, die mehr Wasserstoff enthalten als die Paraffine, wohl aber solche die ärmer an Wasserstoff sind. Die erste Gruppe enthält 2 Atome Wasserstoff weniger, entspricht also der allgemeinen Formel C_nH_{2n}, Gruppe der Olefine. Man erklärt die Konstitution derselben durch die Annahme, daß 2 Kohlenstoffatome durch eine doppelte Bindung verknüpft sind. Das niedrigste Glied dieser Reihe ist das Aethylen $\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\!>C=C<\!\begin{matrix}H\\H\end{matrix}$. Muttersubstanz der zweiten Gruppe ist das Acetylen $HC\equiv CH$, in welchem man eine dreifache Bindung annimmt. Den Homologen desselben kommt die allgemeine Formel C_nH_{2n-2} zu. Weitere Kategorien ungesättigter Kohlenwasserstoffe entstehen dadurch, daß ein Molekül mehrere Doppelbindungen oder dreifache Bindungen enthält.

II. Cyklische Kohlenwasserstoffe. Die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs läßt noch eine weitere Möglichkeit der Atomgruppierung von Kohlenwasserstoffen C_nH_{2n} voraussehen, wie es folgende Formelbilder veranschaulichen:



In denselben sind die Kohlenstoffatome zu einem Ring von 3 und mehr Gliedern geschlossen — Cycloparaffine —. Im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoffen mit offener Kette ist bei den Cycloparaffinen die Stabilität eine Funktion der Ringgliederzahl, sie ist am größten bei den 5- und 6gliedrigen Ringen. Man kennt bisher kein Cycloparaffin, das mehr als 8 Kohlenstoffatome im Ring enthält. Ueber die theoretische Deutung dieser Eigentümlichkeit siehe das Kapitel Stereoisomerie im Artikel „Isomerie".

Auch von den Cycloparaffinen leiten sich durch Austritt von Wasserstoff unter Entstehung von Doppelbindungen ungesättigte Verbindungen ab. Durch die Eigentümlichkeit ihres Verhaltens und wegen ihrer Wichtigkeit nehmen eine Sonderstellung ein die Benzolderivate oder aromatischen Verbindungen. Muttersubstanz derselben ist das Benzol, dem man die Konstitution I zuschreibt; diesem schließen sich die kondensierten Ringsysteme des Naphtalins (II) Anthracens usw. an.



I II

Derivate der Kohlenwasserstoffe. Von den verschiedenen Gruppen der Kohlenwasserstoffe denkt man sich alle übrigen Kohlenstoffverbindungen in der Weise abgeleitet, daß die Wasserstoffatome durch andere Elemente oder Elementgruppen ersetzt werden. Von den elektronegativen Halogenen bis zu den elektropositivsten Metallen vermögen fast alle Elemente substituierend an den Kohlenstoff zu treten. Diese Besonderheit der chemischen Affinität des Kohlenstoffs findet ihre Erklärung in der Mittelstellung dieses Elementes im periodischen System. So entsteht eine große Mannigfaltigkeit von Verbindungsklassen, von denen im folgenden nur einige wenige besonders wichtige genannt werden. Weiter hat man dann noch zwischen einwertigen und mehrwertigen Derivaten der Kohlenwasserstoffe zu unterscheiden, je nachdem ein oder mehr

Wasserstoffatome durch — gleiche oder verschiedene — Radikale ersetzt sind (vgl. die Artikel „Substitution", „Radikale" und „Gruppen").

Halogenderivate der Kohlenwasserstoffe. Vom Methan leiten sich 4 Chlorsubstitutionsprodukte ab, CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$ und CCl_4. Man kennt Chlor-, Brom-, Jod- und Fluorverbindungen.

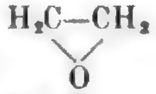
Durch Eintritt von Sauerstoff in das Molekül eines Kohlenwasserstoffes leiten sich ab: Alkohole, die durch die einwertige Hydroxylgruppe charakterisiert sind, z. B. Methylalkokol $CH_3.OH$, Aethylalkohol CH_3CH_2OH; Aldehyde und Ketone, welche an Stelle zweier Wasserstoffatome ein zweiwertiges Sauerstoffatom enthalten. Einfachstes Glied ist der Formaldehyd $C\begin{smallmatrix}H\\H\\O\end{smallmatrix}$. Ist in demselben ein Wasserstoff durch einen organischen Rest R ersetzt, so resultieren die Aldehyde $R.C\begin{smallmatrix}H\\O\end{smallmatrix}$, durch Eintritt zweier Radikale die Ketone $\begin{smallmatrix}R\\R\end{smallmatrix}C=O$. Die Carbonsäuren sind gekennzeichnet durch die Carboxylgruppe $-C\begin{smallmatrix}O\\OH\end{smallmatrix}$, einfachstes Glied ist die Ameisensäure $H.C\begin{smallmatrix}O\\OH\end{smallmatrix}$, die allgemeine Formel der Carbonsäuren ist $R.C\begin{smallmatrix}O\\OH\end{smallmatrix}$.

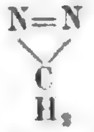
Stickstoffhaltige Verbindungen sind die Amine $R-NH_2$, die Nitrile $R-C\equiv N$ und andere.

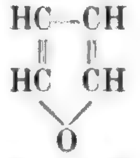
Metallorganische Verbindungen sind Kohlenwasserstoffe, in welchen Wasserstoff durch Metall ersetzt ist. Die Wertigkeit der Metalle äußert sich in der Zusammensetzung derselben, wie aus folgenden Beispielen ersichtlich ist:

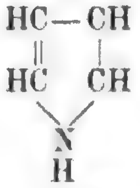
$$Na-CH_3 \quad Zn\begin{smallmatrix}CH_3\\CH_3\end{smallmatrix} \quad Al\begin{smallmatrix}CH_3\\CH_3\\CH_3\end{smallmatrix} \quad Sn\begin{smallmatrix}CH_3\\CH_3\\CH_3\\CH_3\end{smallmatrix}$$

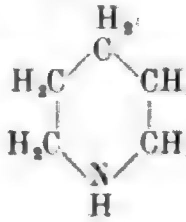
Heterocyklische Verbindungen. Während die Cycloparaffine Ringsysteme enthalten, die nur aus Kohlenstoffatomen bestehen — isocyklische Ringe — sind in den heterocyklischen Verbindungen auch andere Elemente — O, S, N — als Ringglieder eingetreten. Die Mannigfaltigkeit der theoretisch möglichen und der tatsächlich bekannten Ringsysteme ist außerordentlich groß. Man kann sie einteilen nach den Heteroatomen, welche sie enthalten, sowie nach der Ringgliederzahl. Nur wenige Beispiele heterocyklischer Verbindungen seien angeführt.

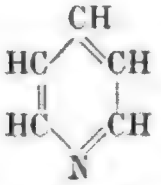
3gliedrige: Aethylenoxyd


Diazomethan


5gliedrige: Furfuran


Pyrrol


6gliedrige: Piperidin


Pyridin


Verbindungen mit 2 und 3 wertigem Kohlenstoff. Wie schon erwähnt, kennt man eine kleine Gruppe organischer Verbindungen, in welchen Kohlenstoff als zweiwertiges Element fungiert. Dazu gehört in erster Linie das Kohlenoxyd $C=O$. Den diesem entsprechenden Kohlenwasserstoff, das Methylen $C\begin{smallmatrix}H\\H\end{smallmatrix}$ hat man nicht zu isolieren vermocht. Als Abkömmlinge desselben sind zu betrachten die Blausäure $C=NH$ und dessen Alkylderivate, die Isonitrile $C=NR$, sowie die Knallsäure $C=NOH$. Verbindungen, in welchen dreiwertiger Kohlenstoff anzunehmen ist, sind erst in neuerer Zeit bekannt geworden und haben wegen ihres eigenartigen Verhaltens großes Interesse erregt. Das Methyl CH_3 selbst ist nicht existenzfähig, wohl aber einige Derivate derselben, z. B. das Triphenylmethyl $C(C_6H_5)_3$.

β) Stereochemie. Die Notwendigkeit, die Strukturlehre durch Betrachtungen zu erweitern, welche sich auf die räumliche Anordnung der Atome im Molekül erstrecken, erwuchs aus demselben Gebiete, dem auch die Strukturlehre die meiste Förderung zu

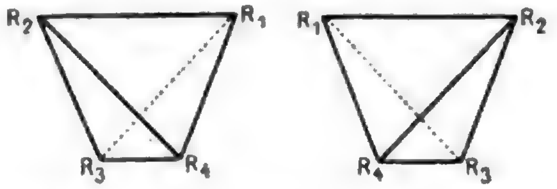
Digitized by Google

verdanken hat, nämlich aus den Erscheinungen der Isomerie. Man lernte Isomeriefälle kennen, die in der Strukturlehre keine Deutung fanden. Solche Fälle waren zuerst vereinzelt, wurden dann häufiger und heute ist es eine außerordentlich große Menge, die aber trotzdem keineswegs unübersehbar ist. Denn die Fülle des Materials wurde schließlich systematisch geschaffen, unter Anleitung durch eine Theorie, welche auch diese besonderen Isomeriefälle mit Sicherheit vorauszusehen gestattet. Man hat zwischen zwei scharf getrennten Arten von Stereoisomerie zu unterscheiden, der Spiegelbildisomerie oder optischen Isomerie, hervorgerufen durch Asymmetrie des Moleküls und der geometrischen Isomerie, die mit der Doppelbindung und Ringbindung zusammenhängt.

Die Spiegelbildisomerie wurde zuerst beobachtet und ist am häufigsten bei Verbindungen, welche ein asymmetrisches Kohlenstoffatom enthalten. Darunter versteht man ein Kohlenstoffatom, das mit 4 verschiedenen Radikalen verknüpft ist $C\begin{array}{l}R_1\\R_2\\R_3\\R_4\end{array}$

Ein solches ist beispielsweise vorhanden in der Milchsäure: $C\begin{array}{l}H\\CH_3\\OH\\CO_2H\end{array}$. Alle Verbindungen mit asymmetrischem Kohlenstoffatom vermögen in zwei isomeren Formen aufzutreten, die in allen chemischen und physikalischen Eigenschaften — Schmelzpunkt, Siedepunkt, Löslichkeit usw. — vollkommen identisch sind und sich nur in einer besonderen physikalischen Eigenschaft, nämlich der Wirkung auf das polarisierte Licht unterscheiden: sie sind optisch aktiv. Von den beiden Isomeren dreht nämlich im Schmelzfluß, in Lösung oder im Dampfzustand das eine die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes nach links, das andere ebenso stark nach rechts. Mischt man die beiden Isomeren, die man mit l und d bezeichnet, in gleichen Mengen, wobei die Wirkung auf das polarisierte Licht aufgehoben wird, so erhält man in der Mehrzahl der Fälle eine neue „racemische" Verbindung, die durch lockere Vereinigung der beiden Komponenten gebildet ist. Solche racemische Verbindungen, durch Löslichkeit, Schmelzpunkt usw. von ihren Komponenten sich unterscheidend, existieren wohl nur in kristallisierter Form, zerfallen dagegen im Schmelzfluß oder in Lösung teilweise oder vollständig in ihre Bestandteile. Diese lassen sich jedoch durch die gewöhnlichen Trennungsmethoden, wie fraktionierte Kristallisation oder Destillation nicht voneinander scheiden, da sie ja gleiche Löslichkeit und gleichen Siedepunkt besitzen. Doch kennt man bestimmte Methoden, die von Pasteur aufgefunden wurden, welche gestatten, die Trennung der aktiven Komponenten durchzuführen (vgl. den Artikel „Isomerie").

Deutung der Spiegelbildisomerie. Die Theorie der Spiegelbildisomerie ist gleichzeitig von 2 Forschern, van't Hoff und Le Bel im Jahre 1874 aufgestellt worden. Sie gründet sich auf die Voraussetzung, daß die 4 Gruppen, welche mit dem Kohlenstoffatom verbunden sind, nicht etwa in planetarischer Bewegung um das Zentralatom begriffen sind, sondern in bestimmter Stellung festgehalten werden, welche sie nicht beliebig vertauschen können. Es ergibt sich Uebereinstimmung der tatsächlich beobachteten Isomeriefälle mit der Theorie, wenn man annimmt, daß diese 4 Gruppen nicht in einer Ebene liegen, sondern im Raume verteilt sind. Bei symmetrischer Verteilung kommen sie dann in die Ecken eines regulären Tetraeders zu liegen, dessen Mittelpunkt durch das Kohlenstoffatom gebildet wird. Das Modell läßt leicht erkennen, daß stets, wenn die 4 Gruppen voneinander verschieden sind und nur in diesem Falle 2 Konfigurationen möglich sind, welche, in allen übrigen Beziehungen sich durchaus gleichend, sich verhalten wie Bild und Spiegelbild und durch Drehung nicht zur Deckung zu bringen sind:



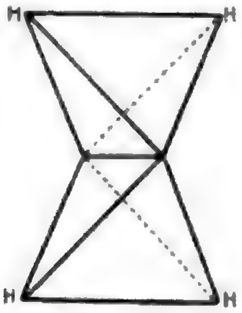
Diese besondere Art der Formulierung der optischen Isomerie bringt zugleich den eigentümlichen Charakter derselben in glücklichster Weise zum Ausdruck.

Verallgemeinerung der Theorie: Experimentelle Forschungen, die durch die van't Hoff-Le Belsche Theorie angeregt worden sind, haben ergeben, daß nicht nur Kohlenstoffatome Zentrum eines asymmetrischen Moleküls sein können, sondern auch andere Elementaratome, nämlich Stickstoff Phosphor, Schwefel, Selen, Zinn, Silicium. Hierüber sowie über die Isomeriefälle, die sich ergeben, wenn 2 und mehr asymmetrische Kohlenstoffatome im Molekül enthalten sind (vgl. den Artikel „Isomerie").

Geometrische Isomerie. Aus der Grundidee, daß die an Kohlenstoff gebundenen Gruppen die Ecken eines Tetraeders

Digitized by Google

einnehmen, ergibt sich für das Aethylen $H_2C=CH_2$ folgendes Modell:



Die 4 Wasserstoffatome kommen demnach in eine Ebene zu liegen. Damit fällt die Möglichkeit optischer Isomerie fort, auch für den Fall, daß an die Stelle der Wasserstoffatome 4 verschiedene Gruppen treten. In der Tat hat man bei solchen Verbindungen niemals optische Aktivität beobachtet. Wohl aber tritt eine andere Art der Isomerie auf und zwar stets dann, wenn die mit einem und demselben Kohlenstoffatom verbundenen Gruppen untereinander verschieden sind, also schon bei dem Molekül

$$\begin{matrix} R_1 \diagdown & & \diagup R_1 \\ & C=C & \\ R_2 \diagup & & \diagdown R_2 \end{matrix}.$$

Das älteste und best studierte Beispiel dieser Art ist die Fumar- und Maleinsäure, welche beide der Strukturformel

$$\begin{matrix} HO_2C \diagdown & & \diagup CO_2H \\ & C=C & \\ H \diagup & & \diagdown H \end{matrix}$$

entsprechen.

Solche isomere Aethylenderivate unterscheiden sich voneinander durch die physikalischen Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Siedepunkt usw., und weisen auch, allerdings nicht sehr tiefgreifende chemische Unterschiede auf.

Deutung der Isomerie: Das räumliche Modell läßt diese Art der Isomerie voraussehen, die sich in der Projektion auf die Ebene folgendermaßen darstellt:

$$\begin{matrix} R_1-C-R_2 \\ \| \\ R_1-C-R_2 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} R_1-C-R_2 \\ \| \\ R_2-C-R_1 \end{matrix}$$

Man unterscheidet die Isomeren als cis- und trans-Formen, je nachdem sich die gleichartigen Gruppen auf derselben Seite der Kohlenstoffdoppelbindung befinden oder sich diagonal gegenüberstehen. Bei dieser Auffassung der Isomerie ist die Voraussetzung gemacht, daß die beiden doppelt gebundenen Kohlenstoffatome sich nicht frei um ihre gemeinsame Achse drehen können, eine Annahme, die durch das Modell in anschaulicher Weise versinnbildlicht wird.

Eine der Aethylenisomerie verwandte Art von Isomerie kennt man bei ringförmigen Verbindungen. Sie wird im Artikel „Isomerie" besprochen werden. Auf denselben Artikel sei auch verwiesen bezüglich der Isomerieverhältnisse, die bei Verbindungen vom Typus $\begin{matrix} R_1 \diagdown \\ R_2 \diagup \end{matrix} C=NX$ und $R_1-N=N-R_2$ beobachtet wurde.

Zusammenfassung: Die ungeheure Mannigfaltigkeit der organischen Verbindungen findet in den Theorien der Strukturchemie und Stereochemie ihr adäquates Abbild; diese gestatten daher Voraussagungen über die möglichen Kombinationen und insbesondere über die Anzahl der zu erwartenden Isomeren zu machen, die sich stets als zuverlässig erwiesen haben. Ueber den Grad der Durcharbeitung des Gebietes gibt die Tatsache Aufschluß, daß Entdeckungen neuer Körperklassen, die in der Jugendzeit der Strukturlehre sich häuften, gegenwärtig trotz der wachsenden Zahl der Bearbeiter zu beinahe seltenen Ereignissen geworden sind. Immerhin ist noch reichlich Arbeit zu leisten: eine große Anzahl von Stoffen, die sich im pflanzlichen oder tierischen Organismus finden, darunter solche von großer physiologischer Wichtigkeit, sind noch nicht soweit erforscht, daß ihre Strukturformel klar gelegt ist. Die Erkenntnis der Konstitution einer Verbindung gibt aber den Schlüssel zu ihrer Synthese.

Ueber den gegenwärtigen Stand des wichtigen Problems, die Zusammenhänge zwischen Konstitution und den physikalischen Eigenschaften der Stoffe zu ermitteln, vgl. den Artikel „Konstitution".

2c. Dynamik der organischen Chemie. In allgemeinster Form kann die hier zu lösende Aufgabe in folgender Weise formuliert werden. Was wird unter gegebenen äußeren Bedingungen nach Ablauf einer bestimmten Zeit die Folge des Zusammenbringens einer bestimmten organischen Verbindung mit gegebenen Mengen anderer anorganischer oder organischer Stoffe sein?

Entsprechend der viel größeren Komplikation des Problems ist die Dynamik der organischen Chemie auch nicht annähernd so vollständig entwickelt als die Systematik.

α) Allgemeine Gesetze. Die Fähigkeit der Stoffe, miteinander in Wechselwirkung zu treten, wird durch den Begriff Affinität gekennzeichnet, der nach van't Hoff definiert wird durch die maximale Arbeit, welche die Reaktion leistet. So erwächst die Aufgabe, die Affinitäten der verschiedensten Reaktionen zu messen. Dazu kann bei umkehrbaren Reaktionen die Ermittelung des Gleichgewichtszustandes dienen. Für die

Digitized by Google

zukünftige Entwickelung der organischen Chemie wird es voraussichtlich von Wichtigkeit sein, daß sich unter Zugrundelegung des Nernstschen Wärmetheorems die Affinität aus thermischen Größen bestimmen läßt (zusammenfassender Bericht bei F. Pollitzer, die Berechnung chemischer Affinitäten nach dem Nernstschen Wärmetheorem, Stuttgart 1912). Die Kenntnis der Affinität einer Reaktion genügt jedoch nicht, da der zeitliche Verlauf eines Vorganges nicht allein durch die Affinität bestimmt wird. Dieser folgt den Gesetzen der chemischen Kinetik, die sich mit der Messung der Reaktionsgeschwindigkeit befaßt.

Die Art und Weise, wie sich die Geschwindigkeit eines Vorganges mit der Verdünnung ändert, gibt Aufschluß über die Ordnung der Reaktion. Darunter versteht man die Bestimmung der Molekülzahl, die sich an einer Reaktion beteiligt. Die Ermittelung der Reaktionsordnung ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Aufklärung des Reaktionsmechanismus.

Ueber die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur und von der Natur des Lösungsmittels, in welchem sich die Reaktion abspielt, sowie über die wichtige Rolle der Katalysatoren vergleiche man die Artikel „Chemische Kinetik" und „Katalyse".

Wenn auch die Gesetze der chemischen Kinetik zum großen Teil an Umsetzungen organischer Stoffe ermittelt wurden, so ist doch nur ein kleiner Teil der organischen Reaktionen genügend kinetisch untersucht; in den allermeisten Fällen begnügt man sich mit einer sehr rohen Schätzung der Reaktionsgeschwindigkeit und unterscheidet zwischen „leicht" und „schwer" eintretenden Reaktionen. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist von fundamentaler Bedeutung für die Vorgänge im Gebiet der organischen Chemie. Als Reagentien auf bestimmte Verbindungen oder bestimmte Atomgruppen bedient man sich stets solcher Stoffe, die „leicht" reagieren. Außerordentlich häufig spielen sich bei der Einwirkung eines Reagens auf eine organische Verbindung zwei oder mehr Vorgänge nebeneinander ab. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Einzelvorgänge ist dann maßgebend für die „Ausbeute" an den verschiedenen Reaktionsprodukten. Bei chemischen Vorgängen im Organismus spielt die Regulierung der Reaktionsgeschwindigkeiten durch Enzyme eine entscheidende Rolle.

Oft bezeichnet man die Kohlenstoffchemie als das Gebiet der langsam verlaufenden Reaktionen; die Trägheit der Kohlenstoffbindung präge der ganzen organischen Chemie ihren eigentümlichen Charakter auf (van't Hoff, Ansichten über organische Chemie II. 244, Braunschweig).

In der Tat ist dies einer der Gründe für die große Ausdehnung des Gebietes. Die Existenz der zahllosen Isomeren, die vom Standpunkt der Affinität aus beurteilt die Tendenz haben müßten sich umzulagern und zu einem Gleichgewichtszustand zu kommen und die doch in Wirklichkeit unermeßliche Zeiten unverändert bestehen können, ist eine Folge dieser Reaktionsträgheit. Die wesentlichste Eigenart der Kohlenstoffchemie ist aber die unendlich mannigfaltige Abstufung der Reaktionsgeschwindigkeiten. So kennt man neben dauernd stabilen Isomeren (z. B. Kohlenwasserstoffen) auch solche, die durch Einfluß höherer Temperaturen leicht zu einem Gleichgewichtszustand zu bringen sind (manche Halogenalkyle, viele Stereoisomere) und wieder andere, die schon bei Zimmertemperatur sich mäßig rasch wechselseitig verwandeln, ferner auch solche, bei denen diese Umlagerung so schnell vor sich geht, daß die Isolierung der Isomeren nur bei ganz niedriger Temperatur möglich ist (z. B. Desmotrope). Es fehlt auch nicht an Stoffen, deren Umlagerungsgeschwindigkeit so groß ist, daß es bisher nicht möglich war, die von der Strukturtheorie geforderten Isomeren zu isolieren (Tautomere). Die Erscheinungen der Isomerie, Desmotropie und Tautomerie haben ihren Grund ausschließlich in der Variationsfähigkeit der Reaktionsgeschwindigkeiten (näheres im Artikel „Isomerie").

Auch innerhalb eines und desselben Moleküls findet sich diese Abstufung der Reaktionsgeschwindigkeiten. So ist es zu verstehen, daß man in einem großen Molekül ein einziges Wasserstoffatom substituieren, allgemein eine bestimmte Gruppe im Molekül verändern kann, ohne den Gesamtbau zu zerstören.

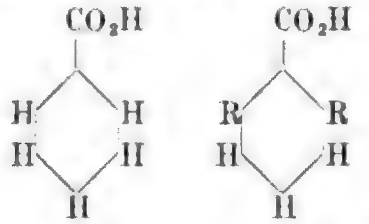
β) Konstitution und chemisches Verhalten. Die chemischen Strukturformeln sind keineswegs nur als Grundlage der Systematik von Bedeutung, sondern mindestens ebensosehr deshalb, weil sie ein Abbild der wesentlichen chemischen Eigenschaften eines Stoffes sind, seine Umwandlungsmöglichkeiten veranschaulichen und Wege zur Synthese voraussehen lassen.

Gruppenreaktionen und Einfluß der Substitution. Jede Gruppe eines Moleküls einer organischen Verbindung — Hydroxyl, Aminogruppe, Doppelbindung, ungesättigtes Kohlenstoffatom usw. — ist durch ihr Verhalten gegen bestimmte Reagentien charakterisiert und kann durch dieselben nachgewiesen werden. Umgekehrt läßt sich aus der Strukturformel das Verhalten einer Verbindung gegen verschiedene

Digitized by Google

Reagentien ablesen (Zusammenstellung der Gruppenreaktionen bei H. Meyer, Analyse und Konstitutionsermittelung organischer Verbindungen, Berlin). Doch reagiert nicht etwa eine in irgendeinem organischen Molekül vorhandene Atomgruppe mit einem bestimmten Reagens stets in genau der gleichen Weise, etwa mit derselben Geschwindigkeit, gleichviel wie im übrigen das Molekül beschaffen ist. Substituierende Radikale üben vielmehr einen modifizierenden Einfluß auf die Art des Reaktionsverlaufes auch dann aus, wenn sie selbst nicht direkt an der Reaktion beteiligt sind. So ist es beispielsweise eine charakteristische Reaktion aller Verbindungen, welche die Carboxylgruppe enthalten, daß sie unter Kohlensäureabspaltung zerlegt werden können. Die Bedingungen aber, unter denen diese Reaktion verläuft, sind sehr abhängig von dem Radikal, mit welchem die Carboxylgruppe verknüpft ist. Essigsäure erleidet diese Spaltung erst beim Erhitzen mit Natronkalk bei hoher Temperatur, Trichloressigsäure zerfällt schon beim Erwärmen mit Wasser, Malonsäure beim Schmelzen. Solche Einflüsse substituierender Gruppen sind ungemein mannigfaltig; aus dem übergroßen Tatsachenmaterial kann hier nur weniges herausgegriffen werden, was sich unter allgemeine Gesichtspunkte bringen läßt.

Sterische Hinderung. Die Reaktionsfähigkeit einer Atomgruppe wird häufig in auffälliger Weise verringert oder fast gänzlich aufgehoben, wenn in unmittelbarer Nähe derselben an Stelle von Wasserstoff andere Substituenten eintreten. Am eingehendsten ist diese Erscheinung bei der Esterbildung aromatischer Carbonsäuren studiert worden. Wenn man in der Benzoësäure die der Carboxylgruppe benachbarten Wasserstoffatome durch andere Atome oder Radikale ersetzt, so wird eine für die Carboxylgruppe

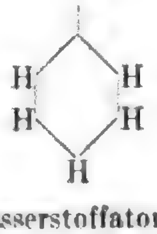


charakteristische Reaktion, nämlich die Esterbildung mit Alkohol und Salzsäure in sehr hohem Maße verlangsamt. Dieser Einfluß auf die Carboxylgruppe bleibt jedoch aus, wenn sich die Substituenten in entfernterer Stellung befinden. Man deutet diese Erscheinung durch die Annahme (V. Meyer 1894), daß die betreffenden Radikale einen größeren Raum einnehmen als Wasserstoff und dadurch eine schützende Wirkung auf die reaktive Gruppe ausüben.

Reaktionserleichternde Gruppen. Während bei der sterischen Hinderung die Radikale nur durch ihre Raumerfüllung wirken sollen, tritt in anderen Fällen die chemische Natur der Substituenten bei der Einwirkung auf die Nachbaratome in den Vordergrund. Es ist eine ganz allgemeine Erscheinung, daß die Verwandtschaften eines Kohlenstoffatoms durch andere an dasselbe gebundene Elemente beeinflußt werden. A. Michael hat diese Eigenschaft mit dem Ausdruck chemische Plastizität des Kohlenstoffs gekennzeichnet (Journ. f. prakt. Chem. 60, 325). Ersetzt man beispielsweise im Methylalkohol $C{<}^{H}_{H}{}^{H}_{OH}$ zwei Wasserstoffatome durch Sauerstoff, so entsteht die Ameisensäure $C{<}^{H}_{O.H}{}^{\cdot}O$, in welcher das Hydroxylwasserstoffatom eine weit größere Beweglichkeit erlangt und ionogenen Charakter annimmt. Diese Fähigkeit zur elektrolytischen Dissoziation wird wiederum stark beeinflußt, wenn in der Ameisensäure das an C gebundene Wasserstoffatom durch Radikale substituiert wird. Die Abhängigkeit der Dissoziationskonstante der Carbonsäuren $R.C{\lt}^{O}_{OH}$ von der Natur des Radikales R ist besonders von Ostwald eingehend untersucht worden (Zusammenstellung bei H. Lundén, Affinitätsmessungen an Säuren und Basen. Stuttgart 1908) und hat dazu geführt, die Radikale in negativierende und positivierende einzuteilen, je nachdem sie die Stärke eine Säure vergrößern oder vermindern, eine Einteilung, die sich freilich nicht mit voller Konsequenz durchführen läßt.

Von großer Wichtigkeit ist die reaktionserleichternde Wirkung, welche ungesättigte Radikale, wenn sie mit den Gruppen CH, OH, NH verknüpft sind, auf die Beweglichkeit des Wasserstoffatoms ausüben.

Substitutionsregelmäßigkeiten. Ersetzt man in einem Benzolderivat



ein zweites Wasserstoffatom durch einen Substituenten (NO_2, SO_3H, Halogen), so werden die drei theoretisch möglichen Isomeren — ortho-, meta- und para-Verbindung — nicht in gleicher Quantität, also

Digitized by Google

nicht mit gleicher Reaktionsgeschwindigkeit gebildet, sondern je nach der Natur des Radikales R überwiegt das eine oder andere dieser Isomeren. Die Gruppe R beeinflußt und zwar in sehr erheblichem Maße die Geschwindigkeit der Substitution in ortho-, meta- und para-Stellung. Man hat gewisse Gesetzmäßigkeiten gefunden. Einige Substituenten z. B. CH_3, Halogen, OH, NH_2 dirigieren vorzugsweise nach Ortho- und Para-Stellung, andere, z. B. CO_2H, NO_2, SO_3H vorzugsweise nach Metastellung. Ausführliche Erörterung bei A. F. Holleman, Die direkte Einführung von Substituenten in den Benzolkern. Leipzig (vgl. auch den Artikel „Substitution").

Dem hier erörterten Gegenstand liegt offenbar das allgemeine Problem zugrunde, in solchen Fällen, in denen die Strukturformeln mehrere Reaktionen als gleicherweise möglich hinstellen, Anhaltspunkte darüber gewinnen, welche von diesen eintreten oder vorzugsweise eintreten werde; exakter ausgedrückt, welche von diesen Reaktionen mit der größeren Geschwindigkeit verlaufen werde. Eine zusammenfassende Beantwortung dieser Frage ist zurzeit nicht möglich. Im einzelnen ist viel Material gesammelt worden, sowohl in der aliphatischen wie in der aromatischen Reihe, bei Substitutions- und Additionsvorgängen, das dann auch zu einer Reihe von empirischen Regeln geführt hat, welche zu Voraussagungen über den Reaktionsverlauf gute Dienste leisten.

Literatur. **F. Beilstein,** *Handbuch der organischen Chemie. Hamburg und Leipzig 1893—1906.* — **M. M. Richter,** *Lexikon der Kohlenstoffverbindungen. Hamburg und Leipzig 1910—1911.* — **Roscoë und Schorlemmer,** *Lehrbuch der organischen Chemie. Bd. III bis VII von J. W. Brühl. Braunschweig 1896—1901.* — **Viktor Meyer und P. Jakobson,** *Lehrbuch der organischen Chemie. Leipzig 1907.* — **V. v. Richter,** *Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Neu bearbeitet von R. Anschütz und G. Schroeter. Bonn 1909.* — **A. F. Holleman,** *Lehrbuch der organischen Chemie. Leipzig 1909.* — **A. Bernthsen,** *Kurzes Lehrbuch der organischen Chemie. Braunschweig 1911.* — **J. H. van't Hoff,** *Die Lagerung der Atome im Raum. Braunschweig 1894.* — **A. Werner,** *Lehrbuch der Stereochemie. Jena 1904.* — **F. Henrich,** *Neuere theoretische Anschauungen auf dem Gebiete der organischen Chemie. Braunschweig 1908.* — **Th. Weyl,** *Die Methoden der organischen Chemie. Leipzig 1909—1911.*

O. Dimroth.

Organische Verbindungen der Metalle und der Nichtmetalle.

1. Allgemeines. 2. Wasserstoff. Heliumgruppe. 3. Lithiumgruppe (organische Verbindungen des Natriums, des Kaliums). 4. Berylliumgruppe (organische Verbindungen des Berylliums, des Magnesiums, des Calciums, des Zinks, des Cadmiums, des Quecksilbers). 5. Borgruppe (organische Verbindungen des Bors, des Aluminiums, des Thalliums). 6. Kohlenstoffgruppe (organische Verbindungen des Kohlenstoffs, des Siliciums, des Germaniums, des Zinns, des Bleis). 7. Stickstoffgruppe (organische Verbindungen des Stickstoffs, des Phosphors, des Arsens, des Antimons, des Wismuts). 8. Sauerstoffgruppe (organische Verbindungen des Sauerstoffs, des Schwefels, des Selens, des Tellurs). 9. Fluorgruppe (organische Verbindungen des Fluors, des Chlors, des Broms, des Jods). 10. Eisengruppe. Rutheniumgruppe. Osmiumgruppe.

1. Allgemeines.

In diesem Artikel soll eine kurze Uebersicht über diejenigen organischen Verbindungen der Metalle und der Nichtmetalle gegeben werden, bei denen das betreffende metallische oder nichtmetallische Element direkt an Kohlenstoff gebunden ist. Die Beschreibung der Verbindungen, bei denen das Metall oder Nichtmetall durch Vermittelung eines Sauerstoffatoms an Kohlenstoff gekettet ist, wird in den Artikeln „Ester", „Salze" usw. gegeben; erfolgt die Bindung unter Vermittelung eines Stickstoffatoms, so sind die betreffenden Stoffe in den Artikeln „Ammoniakderivate", „Cyanverbindungen" usw. zu finden.

Die Anordnung der zu besprechenden Verbindungen erfolgt nach dem periodischen System der Elemente (vgl. den Artikel „Chemische Elemente"). Bildet das betreffende Element eine größere Reihe organischer Verbindungen, deren Konstitution nicht ohne weiteres aus der gewöhnlichen Formelschreibweise ersichtlich ist, so wird dem speziellen Kapitel eine Uebersicht über die Struktur der wichtigsten hierhergehörigen Verbindungen vorausgeschickt, indem diese auf Typen, d. h. auf Konstitutionsformeln bekannter, analog zusammengesetzter Verbindungen bezogen werden (vgl. den Artikel „Chemische Typen"). Vielfach würden hier die Ergebnisse der modernen Valenzforschung (vgl. den Artikel „Valenzlehre") zu berücksichtigen sein; da aber das Gebiet der metall- und metalloidorganischen Verbindungen noch keineswegs erschöpfend von diesen Gesichtspunkten aus behandelt worden ist, soll an dieser Stelle die Registrierung und Formulierung der in Frage stehenden Verbindungen in der bisher üblich gewesenen Weise erfolgen.

Metallorganische Verbindungen. Als

Digitized by Google

„metallorganische" oder „organometallische Verbindungen" („Organometalle") bezeichnet man die Verbindungen von Metallen mit einwertigen Radikalen (R) der aliphatischen oder cyklischen Kohlenwasserstoffe („Alkylen, Arylen" usw.); Verbindungen mit mehrwertigen Radikalen sind bis jetzt nicht bekannt; allenfalls könnte man hierher die Carbide, z. B. Na_2C_2, CaC_2, Al_4C_3 u. a. rechnen, indem man sie als metallorganische Verbindungen des zweiwertigen Radikals — C ≡ C — (oder dergl.) auffaßt.

Metalloidorganische Verbindungen. Den metallorganischen Verbindungen schließen sich durch die Verbindungen der halbmetallischen Elemente Antimon, Tellur usw. die Verbindungen der Nichtmetalle an. Eine scharfe Grenze zwischen Organometall- und Organometalloidverbindungen zu ziehen ist ebensowenig möglich, wie eine scharfe Scheidung zwischen Metallen und Nichtmetallen vorzunehmen. Wir kennen metalloidorganische Verbindungen ein- und mehrwertiger Radikale („Alkyle", „Aryle" usw.; $\overset{I}{R}$ [oder gewöhnlich nur R geschrieben]; $\overset{II}{R}$ usw.).

Eigenschaften und Verhalten der metallorganischen und metalloidorganischen Verbindungen. Ist n die Wertigkeit des betreffenden Elementes X, R ein Radikal, so sind häufig alle den Typen

$$XRY_{(n-1)},\ XR_2Y_{(n-2)} \text{ bis } XR_n$$

entsprechenden Verbindungen bekannt, worin Y bei den metallischen Elementen Halogen oder Hydroxyl, bei den nichtmetallischen Wasserstoff bedeutet. Viele der Verbindungen XR_n sind unzersetzt flüchtig; die Bestimmung ihrer Dampfdichten und (aus diesen) ihrer Molargewichte gestattet die Ermittelung der Wertigkeit des Elementes X. Zahlreiche Repräsentanten dieser Verbindungsgruppen sind selbstentzündlich und müssen in einer CO_2-Atmosphäre hergestellt und verarbeitet werden.

Die einwertigen Radikale $XR_{(n-1)}$ bilden vielfach Hydroxyde von der Form $XR_{(n-1)}.OH$, sogenannte „Oniumhydroxyde", die stark basische Eigenschaften haben und „Oniumsalze" $XR_{(n-1)}.Ac$ (Ac = Säurerest) liefern. Die zweiwertigen Radikale $XR_{(n-2)}$ bilden oft Oxyde von der Form $XR_{(n-2)}O$, die Verbindungen $XR_{(n-2)}(Ac)_2$ geben; diese haben bisweilen den Charakter von Salzen, denen die meist nicht beständige Base $XR_{(n-2)}(OH)_2$ zugrunde liegt, z. B. $XR_{(n-2)}Cl_2$, $XR_{(n-2)}.(O.NO_2)_2$.

Wenn die einwertigen Radikale aus ihren Verbindungen abgeschieden werden, geben sie Verbindungen vom Typus

$$\begin{matrix} XR_{(n-1)} \\ | \\ XR_{(n-1)} \end{matrix};$$

von den zweiwertigen Radikalen bilden einzelne entsprechend Verbindungen vom Typus

$$\begin{matrix} XR_{(n-2)} \\ \| \\ XR_{(n-2)} \end{matrix};$$

andere können in freiem Zustand existieren, wie $> \overset{V}{Sb}(CH_3)_3$, doch kann in diesen Verbindungen auch eine niedrigere Wertigkeitsstufe des Elementes angenommen, jener Stoff z. B. also als $\overset{III}{Sb}(CH_3)_3$ angesehen werden.

Sehr bemerkenswert sind die Tatsachen, daß in vielen Fällen die freien zweiwertigen Radikale resp. die Verbindungen der niedrigeren Wertigkeitsstufe leicht Halogen, Sauerstoff oder Schwefel addieren, und daß $Sb(CH_3)_3$ mit Säure unter H_2-Entwickelung reagiert.

Die dreiwertigen Radikale $XR_{(n-3)}$ liefern vielfach Verbindungen von der Form $XR_{(n-3)}O.OH$, die teils amphotere (sowohl basische wie sauere), teils sauere Eigenschaften haben.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß häufig die einwertigen Radikale sich in ihren Verbindungen (besonders in den Hydroxyden) wie Alkalimetalle, die zweiwertigen (in den Oxyden und Haloiden, sowie ganz besonders das $Sb(CH_3)_3$ selbst) sich wie zweiwertige Metalle verhalten (diese Tatsachen haben zu mancherlei Spekulationen über die Natur der Elemente Veranlassung gegeben), und daß die Verbindungen vielfach um so mehr basischen Charakter gewinnen, je mehr Radikale sie enthalten.

Darstellung. Die Bildungsweisen der metallorganischen Verbindungen entsprechen im allgemeinen den Schemen

$$2Me + RJ \rightarrow MeR + MeJ$$
$$MeNa + RJ \rightarrow MeR + NaJ$$
$$Me + Me'R \rightarrow MR + Me'$$
$$MeCl + Me'R \rightarrow MeR + Me'Cl.$$

Diese Schemen sind ohne Rücksicht auf die Wertigkeit der betreffenden Metalle Me bezw. Me' geschrieben; RJ bedeutet Jodalkyl bezw. Jodaryl.

Diese Bildungsweisen sind auch für viele der metalloidorganischen Verbindungen anwendbar, deren Darstellung auch noch nach speziellen, an der betreffenden Stelle zu besprechenden Methoden erfolgt.

2. Wasserstoff; Heliumgruppe.

Die Verbindungen des Wasserstoffs mit Kohlenstoff stellen die großen Gruppen der Kohlenwasserstoffe und ihrer Derivate dar (vgl. dazu die Artikel „Aliphatische Kohlenwasserstoffe", „Benzolgruppe" usw.). — Verbindungen der Heliumgruppe sind nicht bekannt.

Digitized by Google

3. Lithiumgruppe.

Verbindungen des Na— und des K—

Natriummethyl $Na(CH_3)$ bezw. -äthyl $Na(C_2H_5)$ und **Kaliummethyl** $K(CH_3)$ bezw. -äthyl $K(C_2H_5)$ scheinen zu entstehen, wenn man Na bezw. K zu $Zn(CH_3)_2$ bezw. $Zn(C_2H_5)_2$ fügt; es wird Zn ausgefällt; die Lösung absorbiert CO_2 unter Bildung von $CH_3COONa[K]$ bezw. $C_2H_5COONa[K]$. In reinem Zustand konnten die Alkyle des Na und K nicht erhalten werden.

Natriumphenyl $Na(C_6H_5)$ entsteht durch Einwirkung von Na auf $Hg(C_6H_5)_2$ in Benzol; sehr reaktionsfähig.

4. Berylliumgruppe.

Verbindungen des Berylliums Be<.

Berylliumäthyl $Be(C_2H_5)_2$, Sdp 188°, selbstentzündlich. Berylliumpropyl $Be(C_3H_7)_2$, Sdp 245°.

Verbindungen des Magnesiums Mg < (Barbier, Grignard).

Bildungsweisen. Magnesiumalkylhaloide $Mg\begin{smallmatrix}/R\\ \backslash Hal\end{smallmatrix}$ entstehen durch Einwirkung von Mg auf Alkyl- oder Arylhaloide in absolut-ätherischer Lösung nach der **Grignardschen Reaktion**

$$RHal + Mg = MgRHal.$$

Am leichtesten reagieren Alkyljodide und Alkylbromide; Chloride geben die Reaktion erst bei Zusatz von Jod oder von Magnesiumalkylhaloid. In einzelnen Fällen, z. B. bei der Einwirkung von Isopropyljodid, sowie von tertiären Alkylhaloiden (bei höherer, nicht bei niederer Temperatur) entstehen Kohlenwasserstoffe und Magnesiumhaloid, z. B.

$$\underset{\text{Isopropyljodid}}{2(CH_3)_2CHJ} + Mg =$$
$$\underset{\text{Propylen}}{CH_3.CH = CH_2} + \underset{\text{Propan}}{CH_3.CH_2.CH_3} + MgJ_2$$

Aus der Grignardschen Lösung scheiden sich beim Abdestillieren des Aethers kristallinische Doppelverbindungen des Magnesiumalkylhaloids mit Aether, sogenannte „Aetherate" der Form $MgRHal.O(C_2H_5)_2$ ab, die beim Erhitzen im Vakuum grauweiße, in Aether unlösliche Massen geben, die sich heftig mit Wasser zersetzen. Chloroform, Schwefelkohlenstoff u. a. wirken schädlich bei der Grignardschen Reaktion. Aehnlich wie Aether verhalten sich tertiäre Amine (z. B. Dimethylanilin) die Verbindungen vom Typus $MgRHal.NR_3$ geben.

Eigenschaften. Die ätherischen Lösungen der Magnesiumalkylhaloide sind sehr reaktionsfähig und zeigen z. B. folgende Umsetzungen (vgl. die „Zinkalkyle"):

1. $MgRJ + \underset{\text{Wasser, Alkohol}}{ROH} \longrightarrow \underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{RH} + \underset{\text{Hydroxyd + Jodid, Alkoholat}}{Mg(OR)J}$

2. $MgRJ + O[S] \longrightarrow \underset{\text{Alkoholat}}{Mg(OR)J}\ \ \underset{\text{(Mercaptid)}}{[Mg(SR)J]}$

3. $MgRCl[Br] + J_2 \longrightarrow \underset{\text{Alkyl-(Aryl-) Jodid}}{RJ} + MgCl[Br]J$

4. $MgRJ + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{(Alkyl-, Aryl-) Carbonsäuresalz}}{Mg\begin{smallmatrix}/O.OCR\\ \backslash J\end{smallmatrix}}$

Aehnlich reagieren CS_2, COS, SO_2.

5. $MgRJ + \underset{\text{Aldehyd, Keton}}{\begin{smallmatrix}R'\\ R''\end{smallmatrix}\!>\!CO} \longrightarrow \begin{smallmatrix}R'\\ R''\end{smallmatrix}\!>\!C\!<\!\begin{smallmatrix}R\\ OMgJ\end{smallmatrix} \longrightarrow \underset{\text{Prim., sek. oder (bes. leicht) tert. Alkohol.}}{\begin{smallmatrix}R'\\ R''\end{smallmatrix}\!>\!C\!<\!\begin{smallmatrix}R\\ OH\end{smallmatrix}}$

Aehnlich reagieren Carbonsäureester, -anhydride, -chloride, -salze.

6. $MgRJ + \underset{\text{Alkylenoxyd}}{\begin{smallmatrix}R'\\ |\\ R'\end{smallmatrix}\!>\!O} \longrightarrow \begin{smallmatrix}R'—OMgJ\\ |\\ R'—R\end{smallmatrix} \longrightarrow \underset{\text{Primärer Alkohol}}{\begin{smallmatrix}R'—OH\\ |\\ R'—R\end{smallmatrix}}$

7. $MgRBr + \underset{\text{bromierter Aether}}{BrR''OR'} \longrightarrow \underset{\text{Aether}}{RR''OR'} + MgBr_2$

Digitized by Google

8. $MgRBr + \underset{\text{Schwefelsäuredialkylester}}{SO_4R'_2} \longrightarrow \underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{RR'} + Mg(SO_4.R')Br$

9. $nMgRJ + \underset{\text{Metall-(Metalloid-)haloid}}{XCl_n} \longrightarrow \underset{\text{Metall-(Metalloid-)alkyl}}{XR_n} + nMgClJ$

Ueber weitere Reaktionen der Magnesiumalkylhaloide sehe man den Artikel „Synthese" sowie die Artikel „Aliphatische Kohlenwasserstoffe", „Alkohole", „Aether", „Aldehyde", „Ketone", „Fettsäuren" usw.

Magnesiumäthyljodid $Mg(C_2H_5)J$, weißes Pulver, löst sich in Aether unter Wärmeentwickelung zum Aetherat; wird erhalten durch Einwirkung von Mg auf C_2H_5J in Benzol, nach Zufügen einiger Tropfen Dimethylanilin.

Magnesiumdimethyl $Mg(CH_3)_2$ und Magnesiumdiäthyl $Mg(C_2H_5)_2$ entstehen durch Einwirkung von Mg auf die entsprechenden Hg-Alkyle; feste weiße Massen, die sich an der Luft und sogar in einer CO_2-Atmosphäre von selbst entzünden.

Magnesiumphenylbromid $Mg(C_6H_5)Br$, Magnesiumphenyljodid $Mg(C_6H_5)J$ und homologe Arylmagnesiumhaloide entstehen analog den Alkylverbindungen und gestatten wichtige Synthesen (z. B. die oben angeführten Synthesen 3 und 4, sowie andere spezielle).

Magnesiumdiphenyl $Mg(C_6H_5)_2$, entsteht aus Mg und $Hg(C_6H_5)_2$ (+ wenig Essigester) bei 185°; weißlich gelbes Pulver, leicht löslich in einer Mischung von Benzol und Aether.

Verbindungen des Calciums Ca<.

Calciumäthyljodid entsteht analog dem Magnesiumäthyljodid aus Ca und C_2H_5J in ätherischer Lösung in Form des Aetherates $Ca(C_2H_5)J.O(C_2H_5)_2$; weißes amorphes, in Aether schwer lösliches Pulver.

Verbindungen des Zinks Zn< (Frankland).

Bildungsweisen.

Nach den Gleichungen

1a. $Zn + RJ \xrightarrow[\text{oder in siedend. ätherischer Lösung}]{\text{direkte Einwirk. b. gew. Temp.}} ZnRJ$

b. $ZnRJ \xrightarrow{\text{durch Erhitzen im } CO_2\text{-Strom}} ZnR_2 + ZnJ_2$

2. $Zn + HgR_2 \longrightarrow ZnR_2 + Hg.$

Eigenschaften. Die Zinkalkyle sind farblose, unangenehm riechende Flüssigkeiten, die an der Luft stark rauchen und sich leicht entzünden; auf der Haut rufen sie schmerzhafte Brandwunden hervor. Sie zeigen z. B. folgende Reaktionen:

1. $ZnR_2 + 2H_2O \longrightarrow \underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{2RH} + Zn(OH)_2$

2. $ZnR_2 + O_2 \longrightarrow \underset{\text{Superoxyd}}{ZnR_2O_2}$

Diese bei langsamer Oxydation an der Luft entstehenden superoxydartigen Verbindungen sind explosiv und machen aus KJ Jod frei.

3. $ZnR_2 + 2Hal_2 \longrightarrow \underset{\text{Alkylhaloid}}{2RHal} + ZnHal_2$

4a. $ZnR_2 + \underset{\text{Alkohol}}{R'.OH} \longrightarrow \underset{\text{Alkylzinkäthylat}}{Zn\genfrac{}{}{0pt}{}{OR'}{R}} + \underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{RH}$

b. $ZnR_2 + 2R'.OH \longrightarrow \underset{\text{Zinkalkoholat}}{Zn\genfrac{}{}{0pt}{}{OR'}{OR'}} + \underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{2RH}$

5. $nZnR_2 + 2XCl_n \longrightarrow 2XR_n + nZnCl_2$

6. $ZnR_2 + 2SO_2 \longrightarrow \underset{\text{Sulfinsaures Salz}}{Zn(SO_2.R)_2}$

7. $ZnR_2 + 2NO \longrightarrow \genfrac{}{}{0pt}{}{NO}{R.N.OZnR} \xrightarrow{\text{mit } H_2O} \underset{\text{Nitroso-}\beta\text{-alkylhydroxylamin (Dinitroäthylsäure)}}{\genfrac{}{}{0pt}{}{NO}{R.N.OH}}$

8. $ZnR_2 + 2R'J \longrightarrow \underset{\text{Kohlenwasserstoff}}{RR'} + ZnJ_2$

Digitized by Google

9. $ZnR_2 + R'CO.Cl \longrightarrow R'C(R)(OZnR)Cl$
Säurechlorid

a. $R'C(R)(OZnR)Cl + H_2O \longrightarrow R'.CO.R + RH + Zn(OH)Cl$
Keton

b. $R'C(R)(OZnR)Cl + ZnR_2 \longrightarrow R'C(R)(OZnR)R + ZnR.Cl$

$R'C(R)(OZnR)R + 2H_2O \longrightarrow R'C(R)(OH)R + RH + Zn(OH)_2$
Tertiärer Alkohol

Aehnlich reagieren Aldehyde, Ketone, Carbonsäureester, -anhydride, Lactone, chlorierte Aether. Mit Alkylenoxyden reagieren die Zinkalkyle im Gegensatz zu den Magnesiumalkylhaloiden nicht. Im übrigen können sie fast in allen ihren Reaktionen durch die leichter zugänglichen und bequemer zu handhabenden organischen Verbindungen des Magnesiums ersetzt werden.

Zinkmethyl $Zn(CH_3)_2$, Sdp 46°, d^{10} 1,386; erstarrt beim Abkühlen.

Zinkäthyl $Zn(C_2H_5)_2$, Sdp 118°, d^{18} 1,182; erstarrt beim Abkühlen.

Zinkpropyl	$Zn(C_3H_7)_2$	Sdp 146°.
Zinkisopropyl	$Zn(C_3H_7)_2$	Sdp 136°.
Zinkisobutyl	$Zn(C_4H_9)_2$	Sdp 166°.
Zinkisoamyl	$Zn(C_5H_{11})_2$	Sdp 210°.

Verbindungen des Cadmiums Cd<.

Cadmiummethyl $Cd(CH_3)_2$ Sdp 104°, durch Erhitzen des Einwirkungsproduktes von Cd auf CH_3J; ist in seinem Verhalten dem $Zn(CH_3)_2$ sehr ähnlich.

Verbindungen des Quecksilbers Hg<.

Bildungsweisen:

Nach den Gleichungen

1. $Hg + RJ \xrightarrow{\text{im Licht}} HgRJ$
Alkyljodid

2. $HgNa_2 + 2RJ \longrightarrow HgR_2 + 2NaJ$
(Alkyl-, Aryljodid)
(bei Gegenwart von etwas Essigäther)

3. $HgCl_2 + ZnR_2 \longrightarrow HgR_2 + ZnCl_2$
Zinkalkyl

1. Aliphatische Verbindungen. Eigenschaften. Die Quecksilberalkylhaloide stellen feste kristallisierte Stoffe dar; sie reagieren unter Bildung von Quecksilberdialkylen nach den Gleichungen

$$2HgRJ + 2KCN \longrightarrow HgR_2 + Hg(CN)_2 + 2KJ$$
$$2HgRJ + Zn(R)_2 \longrightarrow 2HgR_2 + ZnJ_2$$

Die Dialkylverbindungen sind farblose, schwere Flüssigkeiten von schwachem eigenartigem Geruch, die sich beim Erhitzen leicht entzünden; an der Luft sind sie beständig; durch Wasser, in dem sie sich nur wenig lösen, werden sie nicht zersetzt; sie reagieren unter Bildung von Quecksilberalkylhaloiden nach den Gleichungen

$HgR_2 + J_2 \longrightarrow HgRJ + RJ$
Jodalkyl

$HgR_2 + HJ \longrightarrow HgRJ + RH$
Kohlenwasserstoff

$HgR_2 + HgCl_2 \longrightarrow 2HgRCl$

Quecksilbermethyljodid $Hg(CH_3)J$; Fp 143°; glänzende Blättchen, unlöslich in Wasser; liefert mit $AgNO_3$ Quecksilbermethylnitrat $Hg(CH_3)O.NO_2$.

Quecksilberäthyljodid $Hg(C_2H_5)J$; wird durch Sonnenlicht in C_4H_{10} + HgJ gespalten.

Quecksilberallyljodid $Hg(C_3H_5)J$, Fp 135°; reagiert mit HJ nach der Gleichung:

$$Hg(CH_2.CH{=}CH_2)J + HJ \longrightarrow CH_3.CH{=}CH_2 + HgJ_2$$
Propylen

Quecksilberäthylhydroxyd $Hg(C_2H_5)OH$, dicke Flüssigkeit, löslich in Wasser und in Alkohol, reagiert stark alkalisch, bildet mit Säuren Salze; entsteht aus dem Jodid mit feuchtem Ag_2O.

2. Aromatische Verbindungen. Quecksilberdiphenyl $Hg(C_6H_5)_2$, Fp 120°; farblose, rhombische, leicht sublimierende Prismen, leicht löslich in Benzol und in Schwefelkohlenstoff, schwerer in Alkohol und in Aether, unlöslich in Wasser; entsteht durch Behandeln von C_6H_5Br in Benzol mit Na-Amalgam (am besten bei Gegenwart von etwas Essigäther); färbt sich am Licht gelb; liefert beim Destillieren Diphenyl, Benzol und Hg, beim Behandeln mit Säuren Benzol und Hg-Salz; bei der Einwirkung von Halogen entstehen Quecksilberphenylchlorid $Hg(C_6H_5)Cl$, Fp 250°, Quecksilberphenylbromid $Hg(C_6H_5)Br$, Fp 275° und Quecksilberphenyljodid $Hg(C_6H_5)J$, Fp 265°; aus dem Chlorid entsteht mittels Ag_2O und Alkohol Quecksilberphenylhydroxyd $Hg(C_6H_5)OH$, das Salze bildet, z. B. Quecksilberphenylacetat $Hg(C_6H_5)O.COCH_3$; letzteres entsteht auch direkt beim Erhitzen von Benzol mit Hg-Acetat auf 120°; diese Reaktion zur Einführung eines Hg-Atoms an Stelle eines H-Atoms ist bei vielen aromatischen Verbindungen

Digitized by Google

durchführbar („Mercurierung"). Das Hg ist in diesen Verbindungen ziemlich fest an den Kern gebunden. Es lassen sich (bei energischer Einwirkung) auch mehrere H-Atome ersetzen, wobei Verbindungen wie $C_6H_4(Hg.O.COCH_3)_2$ usw. entstehen.

5. Borgruppe.

Verbindungen des Bors B< (Frankland).

Typus

Borwasserstoff — Alkyl-(aryl-)bordichlorid — Dialkyl-(aryl-)borchlorid — Tertiäre Borine (Trialkylborine) — Alkylborsäure

Die tertiären Borine entstehen nach den Gleichungen

$$2BCl_3 + 3\underset{\text{Zinkalkyl}}{ZnR_2} = 2BR_3 + 3ZnCl_2$$

$$\underset{\text{Borsäureester}}{2B(OR)_3} + 3ZnR_2 = 2BR_3 + \underset{\text{Zinkalkoholat.}}{3Zn(OR)_2}$$

Trimethylborin $B(CH_3)_3$, gasförmig, selbstentzündlich, von sehr scharfem Geruch.

Triäthylborin $B(C_2H_5)_3$, Sdp 95°, selbstentzündlich, von sehr scharfem Geruch; setzt sich mit HCl um nach der Gleichung

$$B(C_2H_5)_3 + HCl = B(C_2H_5)_2Cl + C_2H_6;$$

durch langsame Oxydation an der Luft entsteht Aethylborsäureäthylester $C_2H_5B(OC_2H_5)_2$, der durch Wasser in Aethylborsäure übergeführt wird.

Phenylchlordichlorid $B(C_6H_5)Cl_2$, Fp 0°, Sdp 175° und Diphenylborchlorid $B(C_6H_5)_2Cl$, Sdp 271° entstehen aus BCl_3 und $Hg(C_6H_5)_2$. Auch die entsprechenden Br-Verbindungen sind bekannt.

Verbindungen des Aluminiums Al<.

Bildungsweise. Nach der Gleichung:

$$2Al + 3HgR_2 = 2AlR_3 + 3Hg$$

Aluminiumtrimethyl $Al(CH_3)_3$, Sdp 130° und Aluminiumtriäthyl $Al(C_2H_5)_3$, Sdp 194° sind farblose, selbstentzündliche Flüssigkeiten; mit Wasser zersetzen sie sich energisch unter Bildung von Kohlenwasserstoff und $Al(OH)_3$. Ihre Dampfdichten sprechen mehr für die Formel AlR_3 als für Al_2R_6.

Verbindungen des Thalliums Tl<.

Bildungsweisen. Nach der Gleichung:

$$TlHal_3 + \underset{\text{(in Aether)}}{2MgRHal} = TlR_2Hal + 2MgHal_2$$

Eigenschaften. Die Thalliumdialkylhaloide TlR_2Hal sind kristallinische, in Wasser schwer lösliche Körper; beim Erhitzen zersetzen sie sich; aus sehr verdünntem Alkali können sie ohne Zersetzung umkristallisiert werden; mit feuchtem Ag_2O liefern sie die Thalliumdialkylhydroxyde TlR_2OH, leicht lösliche Stoffe von stark alkalischer Reaktion.

6. Kohlenstoffgruppe.

Verbindungen des Kohlenstoffs >C<.

Typus

Aethan — Gesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe

Aethylen — Aethylene

$HC \equiv CH$ — $HC \equiv CR$

Acetylen — Acetylene.

Eine vollständige Uebersicht über die mannigfaltigen Kohlenstoffverkettungen wird in dem Artikel „Systematik und Nomenklatur der chemischen Verbindungen" gegeben. Man sehe auch die Spezialartikel „Kohlenwasserstoffe", „Aliphatische Kohlenwasserstoffe", „Isocyklische Systeme", „Aromatische Reihe" usw.

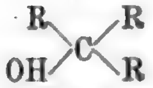
Verbindungen des Siliciums >Si< (Friedel, Crafts, Ladenburg).

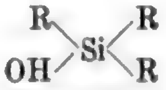
Typus

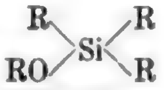
Siliciumwasserstoff — Alkylsiliciumchloride — Siliciumtrialkylhydrür — Siliciumtetralkyl

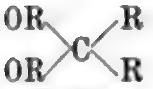
Digitized by Google

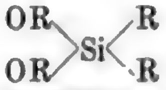
Typus

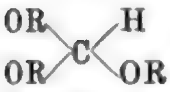

Trialkylcarbinol


Trialkylsilicol (Trialkylsilicium-hydroxyd)

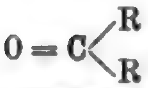

Trialkylsilicium-alkylester

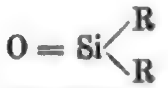

Orthoketon-alkyläther


Dialkylsilicium-dialkylester

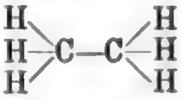

Orthomeisensäure-alkylester

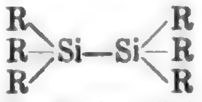
Alkylsiliciumtrialkylester (Orthosilicosäureester)

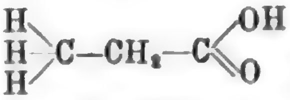

Dialkylketon

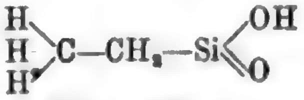

Dialkylsiliciumoxyd

Typus


Aethan


Disiliciumhexaalkyl


Propionsäure


Silicopropionsäure (Aethylkieselsäure)

Eigenschaften. Die schon von Wöhler betonte große Aehnlichkeit zwischen Silicium und Kohlenstoff tritt deutlich in den oben zusammengestellten Siliciumverbindungen hervor, die in vieler Hinsicht den entsprechend zusammengesetzten Kohlenstoffverbindungen gleichen.

Bildungsweisen:

1. Nach den Gleichungen

$$SiCl_4 + 2ZnR_2 = SiR_4 + 2ZnCl_2$$
(Zinkalkyl)

$$Si(OR)_4 + 2ZnR_2 = SiR_4 + 2Zn(OR)_2;$$
(Kieselsäureester; Zinkalkoholat)

analog reagieren andere Halogensiliciumverbindungen und Kieselsäureester.

2. Aus $SiCl_4$ und MgRJ (Alkylmagnesiumjodid) in Aether entstehen je nach der Menge des MgRJ die Verbindungen

$$SiRCl_3,\ SiR_2Cl_2,\ SiR_3Cl,\ SiR_4,$$

die mit MgR'J gemischte Siliciumalkyle geben, z. B.:

$$SiRCl_3 + MgR'J \rightarrow SiRR'Cl_2,$$
$$SiRR'Cl_2 + MgR''J \rightarrow SiRR'R''Cl \text{ usw.}$$

Aus $SiCl_4$ und $Hg(C_6H_5)_2$ entsteht $Si(C_6H_5)Cl_3$.

3. Nach den Gleichungen

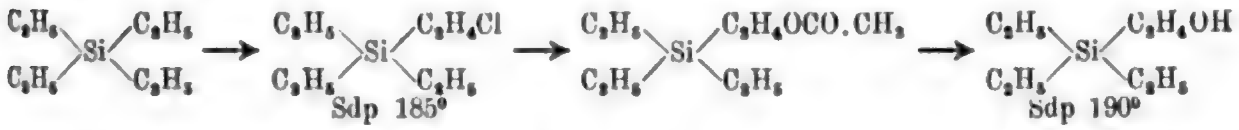
$$SiCl_4 + 4RCl + 8Na = SiR_4 + 8NaCl$$
(RCl: Alkyl (Aryl-) chlorid)

$$SiCl_4 + HgR_2 = SiRCl_3 + HgRCl$$
(HgR_2: Quecksilberdiaryl)

$$SiCl_3H + 3RCl + 6Na = SiR_3H + 6NaCl$$
($SiCl_3H$: Siliciumchloroform; SiR_3H: Siliciumtrialkylhydrür)

Siliciumtetramethyl $Si(CH_3)_4$ Sdp 30°, d^0 0,928; unlöslich in Wasser.

Siliciumtetraäthyl $Si(C_2H_5)_4$, **Silicononan**; Sdp 153°, d^0 0,834, geht durch Cl_2 in **Silicononylchlorid** über; dieses liefert mit essigsaurem Kalium **Silicononylessigester**, dieser durch Verseifen mit NaOH **Silicononylalkohol**:



Silicotriisoamylhydrür $Si(C_5H_{11})_3H$, Sdp 245°, gibt mit Br_2 **Siliciumtriamylbromid** $Si(C_5H_{11})_3Br$, Sdp 279°, schwere an der Luft rauchende Flüssigkeit; liefert mit NH_4OH **Triamylsilicol** $Si(C_5H_{11})OH$, Sdp 270°.

Triäthylsiliciumäthylester $Si(C_2H_5)_3(OC_2H_5)$, Sdp 153°.

Diäthylsiliciumdiäthylester $Si(C_2H_5)_2(OC_2H_5)_2$, Sdp 156°.

Aethylsilicium-triäthylester $Si(C_2H_5)(OC_2H_5)_3$, Sdp 159°; kampherartig riechende Flüssigkeit.

Triäthylsiliciumhydroxyd $Si(C_2H_5)_3OH$, **Triäthylsilicol**, entsteht beim Verseifen des **Triäthylsilicium-essigesters** $Si(C_2H_5)_3O.CO-CH_3$, der durch Einwirkung von Essigsäureanhydrid auf $Si(C_2H_5)_3(OC_2H_5)$ erhalten wird.

Diäthylsiliciumdichlorid $Si(C_2H_5)_2Cl_2$, Sdp 148°, entsteht auch aus $Si(C_2H_5)_2(OC_2H_5)_2$ und CH_3COCl (Acetylchlorid); mit Wasser gibt es das **Diäthylsiliciumoxyd** $Si(C_2H_5)_2O$.

Aethylsiliciumtrichlorid $Si(C_2H_5)Cl_3$, Sdp ca. 100°, an der Luft rauchend; entsteht auch aus $Si(C_2H_5)(OC_2H_5)_3$ und CH_3COCl (Acetylchlorid); gibt mit Wasser die **Silicopropionsäure** $Si(C_2H_5)O.OH$, **Aethyl-Kieselsäure**, ein amorphes, an der Luft verglimmendes Pulver.

Siliciumphenyltrichlorid $Si(C_6H_5)Cl_3$, Sdp 197°, aus $SiCl_4$ und $Hg(C_6H_5)_2$; liefert mit Wasser **Silicobenzoesäure** $C_6H_5SiO.OH$, Fp 92°, mit

Alkohol Orthosilicobenzoesäure-äthylester $Si(C_6H_5)(OC_2H_5)_3$, Sdp 137°.

Siliciumtriphenylchlorid $Si(C_6H_5)_3Cl$ entsteht ähnlich wie das Trichlorid, gibt mit Wasser das Siliciumtriphenylhydroxyd $Si(C_6H_5)_3OH$, Triphenylsilicol, Fp 148°.

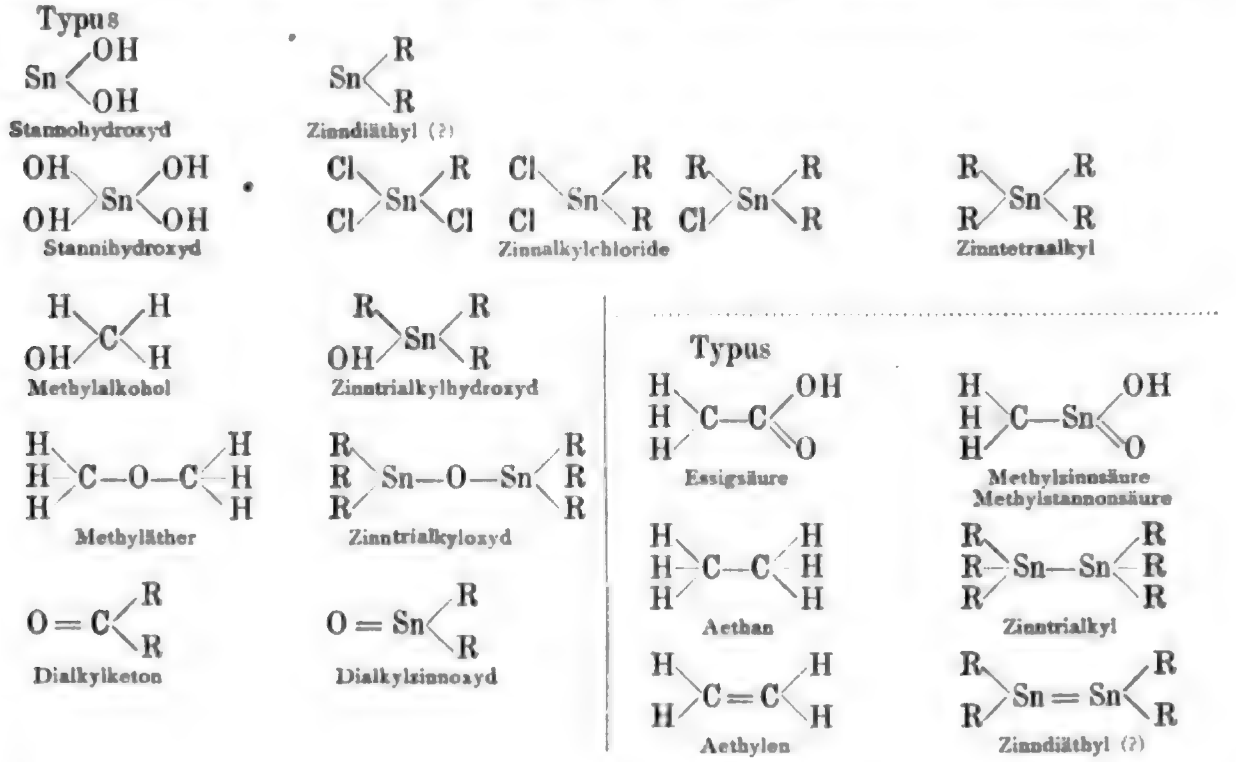
Siliciumphenyltriäthyl $Si(C_6H_5)(C_2H_5)_3$, Sdp 230°, aus $Si(C_6H_5)Cl_3$ und $Zn(C_2H_5)_2$ (Zinkäthyl).

Siliciumtetraphenyl $Si(C_6H_5)_4$, Fp 228°, Sdp über 300°, aus $SiCl_4 + C_6H_5Cl + 8Na$ in ätherischer Lösung.

Verbindungen des Germaniums $>\!Ge\!<$.

Germaniumäthyl $Ge(C_2H_5)_4$, Sdp 160°, lauchartig riechende Flüssigkeit; aus $GeCl_4$ und $Zn(C_2H_5)_2$ (Zinkäthyl).

Verbindungen des Zinns $Sn\!<$ und $>\!Sn\!<$ (Löwig, Cahours, Ladenburg u. a.).



Bildungsweisen.

1. Nach den Gleichungen

$$SnCl_4 + 2ZnR_2 = SnR_4 + 2ZnCl_2$$

$$SnCl_4 + MgRCl = SnRCl_3 + MgCl_2$$

(usw.; siehe „Silicium")

$$SnCl_4 + 4RCl + 8Na = SnR_4 + 8NaCl$$

Arylchlorid

$$SnCl_4 + HgR_2 = SnR_2Cl_2 + HgCl_2$$

Quecksilberdiaryl

2. Aus Zinn, Zinnzink oder Zinnatrium mit RJ (Alkyljodid), je nach dem Gehalt des Zinnatriums an Natrium entstehen SnR_2J_2 oder SnR_3J; diese Verbindungen werden durch Natrium in Sn_2R_4 und Sn_2R_6 übergeführt.

Verhalten. Die Alkylreste sind in den Zinnalkylverbindungen nicht so fest gebunden wie in den Siliciumalkylen; durch Einwirkung von Halogenen entstehen Halogenalkyle:

$$SnR_4 + J_2 = SnR_3J + RJ$$

durch Einwirkung von HCl Paraffine:

$$SnR_4 + HCl = SnR_3Cl + RH.$$

Zinntetramethyl $Sn(CH_3)_4$, Sdp 78°, farblose, ätherisch riechende Flüssigkeit; unlöslich in Wasser.

Zinntetraäthyl $Sn(C_2H_5)_4$, Sdp 181°, d^{23} 1,187; farblos, ätherisch riechend; unlöslich in Wasser.

Zinntriäthylchlorid $Sn(C_2H_5)_3Cl$, Sdp 210°, d^{0} 1,428; Zinntriäthyljodid $Sn(C_2H_5)_3J$, Sdp 231°, d^{22} 1,833; beide Verbindungen haben unangenehmen Geruch, lösen sich in Alkohol und Aether und liefern mit KOH oder Ag_2O (feucht) das

Zinntriäthylhydroxyd $Sn(C_2H_5)_3OH$, Fp 66°, Sdp 272°, schwer löslich in Wasser, leicht in Alkohol und Aether; ist mit Wasserdämpfen flüchtig; hat stark basische Eigenschaften, bildet dementsprechend Salze, z. B. $Sn(C_2H_5)_3O.NO_2$; durch längeres Erhitzen entsteht

Zinntriäthyloxyd $[Sn(C_2H_5)_3]_2O$, ölige Flüssigkeit, bildet mit Wasser das Hydroxyd zurück.

Zinntriäthyl $Sn_2(C_2H_5)_6$, Sdp 270°, riecht senfartig, unlöslich in Alkohol; verbindet sich mit O_2 zu $[Sn(C_2H_5)_3]_2O$, mit J_2 zu $Sn(C_2H_5)_3J$.

Zinndiäthyl $Sn(C_2H_5)_2$ oder $Sn_2(C_2H_5)_4$, dickes Oel, gibt beim Erhitzen $Sn(C_2H_5)_4$ und Sn; mit Cl_2 oder J_2 entstehen

Zinndiäthylchlorid $Sn(C_2H_5)_2Cl_2$, Fp 85°, Sdp 220°, und Zinndiäthyljodid $Sn(C_2H_5)_2J_2$,

Digitized by Google

Fp 44,5°, Sdp 245°; diese Verbindungen liefern mit Alkali das

Zinndiäthyloxyd $Sn(C_2H_5)_2O$, weißes, unlösliches Pulver, löst sich im Ueberschuß des Alkalis, bildet mit Säuren Salze.

Methylzinnsäure $CH_3SnO.OH$, Methylstannonsäure, weißes, amorphes Pulver, aus alkalischer Stannosalzlösung in Alkohol und CH_3J (Jodmethyl):

$$HSnO.OK + CH_3J + KOH = CH_3SnO.OK + KJ + H_2O;$$

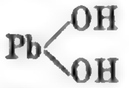
löslich in KOH; schwächer als Kohlensäure; beim Erwärmen mit Alkali liefert sie Zinndimethyloxyd $Sn(CH_3)_2O$, das beim Destillieren mit Alkali Zinntrimethylhydroxyd $Sn(CH_3)_3OH$ gibt; mit den Halogenwasserstoffsäuren setzt sich die Methylzinnsäure um zu Zinnmethyltrichlorid, Fp 43°, Zinnmethyltribromid, Fp 53°, Zinnmethyltrijodid, Fp 86° (das Trichlorid raucht an der Luft, wie $SnCl_4$); Methylzinnsäure ist also ein amphoterer Elektrolyt (vgl. „Kakodylsäure" unter „Verbindungen des Arsens").

Zinndiphenylchlorid $Sn(C_6H_5)_2Cl_2$, Fp 42°, aus $SnCl_4$ und $Hg(C_6H_5)_2$.

Zinntetraphenyl $Sn(C_6H_5)_4$, Fp 226°, Sdp über 420°, aus Zinnnatrium und C_6H_5Br.

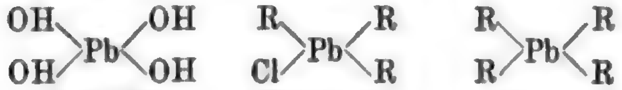
Verbindungen des Bleis >Pb<.

Typus



Bleihydroxyd

Keine Derivate bekannt.



Ortho-Blei-Säure — Bleitrialkyl-chlorid — Bleitetra-alkyle

Aethan — Bleitrialkyle, Diplumbhexaalkyle

Bildungsweisen. Nach den Gleichungen:

1. $2PbCl_2 + 4ZnR_2 \longrightarrow PbR_4 + 4ZnRCl_2 + Pb$
2. $2PbNa_3 + 6RJ \longrightarrow Pb_2R_6 + 6NaJ$

(RJ: Alkyl (Aryl-) jodid)

Eigenschaften. Die Tetraalkyle und die Trialkyle liefern mit HCl oder mit J_2 Trialkylhaloide.

Bleitriäthyljodid $Pb(C_2H_5)_3J$ gibt mit feuchtem Ag_2O das Hydroxyd $Pb(C_2H_5)_3OH$, eine stark alkalisch reagierende, in Wasser schwer lösliche Flüssigkeit, die mit Säuren Salze bildet, z. B. das schwer lösliche Bleitriäthylsulfat $[Pb(C_2H_5)_3]_2SO_4$.

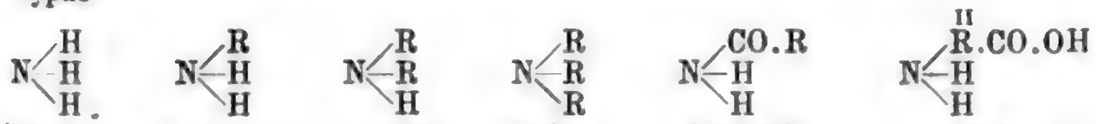
Bleitetramethyl $Pb(CH_3)_4$, Sdp 110°, Bleitetraäthyl $Pb(C_2H_5)_4$ und Bleitriäthyl $Pb_2(C_2H_5)_6$, Diplumbhexaäthyl(?) sind ölige Flüssigkeiten, die sich beim Destillieren teilweise zersetzen. (Die Existenz der Hexaalkyle ist zweifelhaft.)

Bleitetraphenyl $Pb(C_6H_5)_4$, Fp 224°, entsteht aus $C_6H_5Br + PbNa_3$ bei Gegenwart von Essigäther.

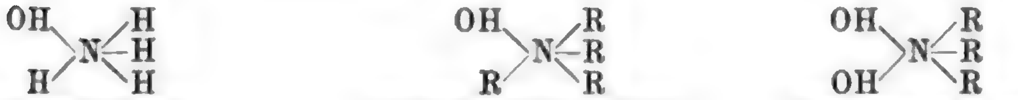
7. Stickstoffgruppe.

Verbindungen des Stickstoffs N< und >N<.

Typus



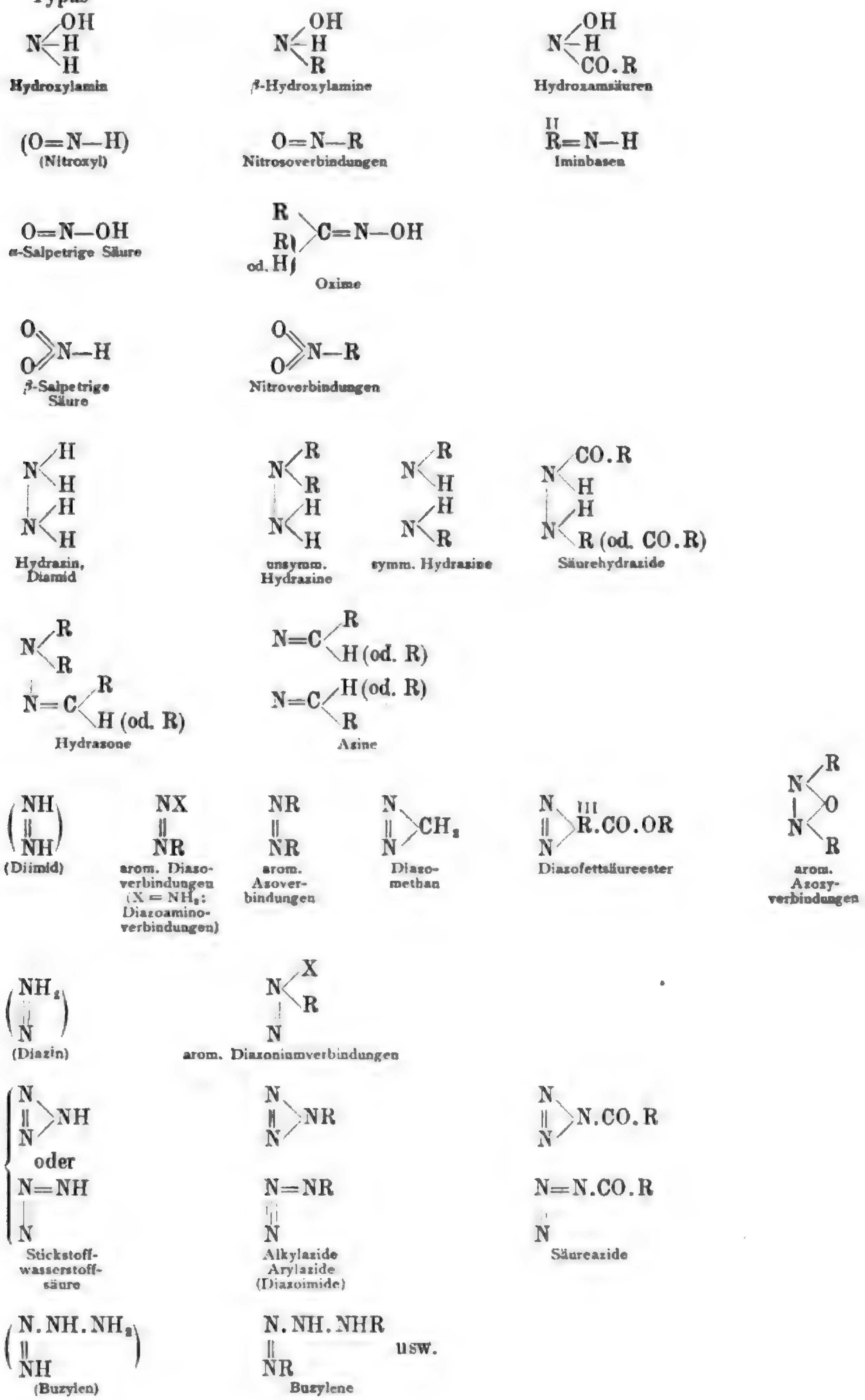
Ammoniak — Primäre — Sekundäre — Tertiäre (Amine) — Säureamide — Aminosäuren



Ammoniumhydroxyd — Tetraalkylammoniumhydroxyde (Quartäre Ammoniumbasen) — Trialkylaminoxydhydrat

Digitized by Google

Typus

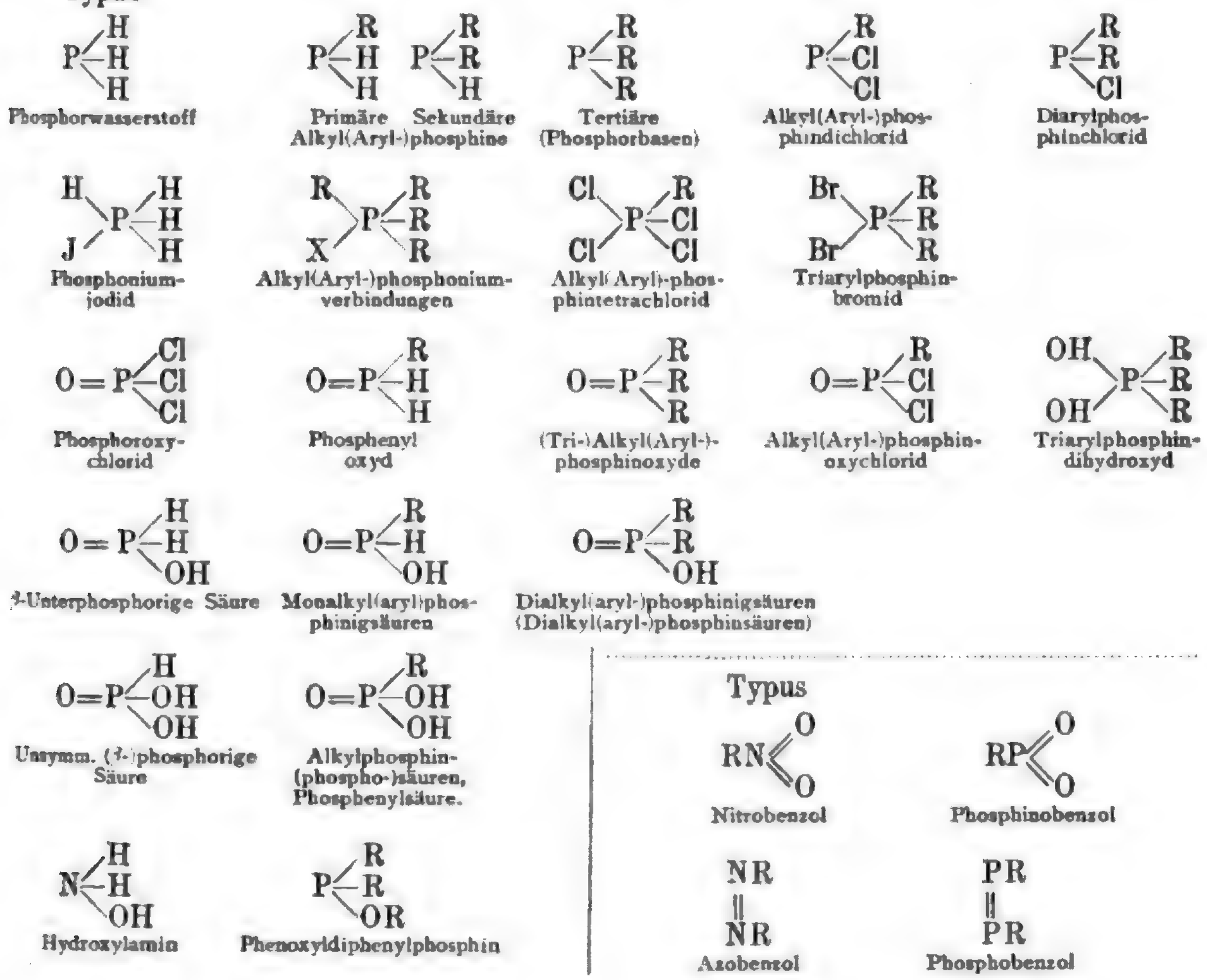


Digitized by Google

Typus		
N≡C—H α-Cyanwasserstoff α-Blausäure	N≡C—R Nitrile Cyanide	N≡C—CO.R Säurenitrile(-cyanide)
C=N—H β-Cyanwasserstoff β-Blausäure	C=N—R Isonitrile Isocyanide Carbylamine	
N≡C—OH Cyansäure	N≡C—OR Cyansäureester	
O=C=N—H Isocyansäure Carbimid	O=C=N—R Isocyansäureester Carbimide, Cyanate	
C=N—OH Knallsäure Carbyloxim	C=N—OMe Knallsaure Salze.	

Die Beschreibung der außerordentlich zahlreichen organischen Stickstoffverbindungen erfolgt in den Artikeln „Ammoniakderivate“, „Nitro(-oso-)verbindungen“, „Azoverbindungen“, „Cyanverbindungen“, „Heterozyklische Systeme“ usw.

Verbindungen des Phosphors P< und >P<. Thénard, A. W. Hofmann).



I. Aliphatische Verbindungen.

1. Phosphine (Phosphorbasen) und Alkylphosphoniumverbindungen.

Bildungsweisen:

1. nach den Gleichungen

$$2PH_4J + 2RJ + ZnO = 2(PRH_2.HJ) + ZnJ_2 + H_2O$$
$$PRH_2.HJ \text{ (durch } H_2O) \rightarrow PRH_2 + HJ$$

Digitized by Google

und

$$PH_4J + 2\,RJ + ZnO = PR_2H.HJ + ZnJ_2 + H_2O$$

$$PR_2H.HJ + KOH = PR_2H + KJ + H_2O \qquad \text{bei } 150^0;$$

2. nach den Gleichungen

$$PH_4J + 3\,RJ = PR_3.HJ + 3\,HJ \text{ und } PR_3.HJ + RJ = PR_4J + HJ;$$

die tertiäre und quartäre Verbindung lassen sich durch KOH trennen;

3. entsprechend dem Schema

$$Ca_3P_2 + 6\,RJ = 2\,PR_3 + 3\,CaJ_2$$

4. nach der Gleichung

$$2\,PCl_3 + 3\,ZnR_2 = 2\,PR_3 + 3\,ZnCl_2.$$

Eigenschaften. Die Phosphine sind flüssig, flüchtig, farblos, stark lichtbrechend und von starkem, betäubendem Geruch; kaum löslich in Wasser, leicht in Alkohol und Aether. Sie haben um so größere Neigung zur Basenbildung, je mehr Radikale sie enthalten. Die Tetraalkylphosphoniumhydroxyde sind sehr starke Basen.

Verhalten. Die Phosphine oxydieren sich rasch an der Luft, meist unter Selbstentzündung; bei vorsichtiger Oxydation durch HNO_3 wird der P fünfwertig und es entstehen aus primären Phosphinen RPH_2 die Alkylphosphinsäuren $RPO(OH)_2$, aus sekundären Phosphinen R_2PH die Dialkylphosphinigsäuren $R_2PO(OH)$, aus tertiären Phosphinen R_3P die Trialkylphosphinoxyde R_3PO.

Die Phosphine addieren Säuren, Schwefel, Schwefelkohlenstoff; die Salze der primären Phosphine werden durch Wasser, die der sekundären erst durch Alkali zerlegt.

Die tertiären Phosphine vereinigen sich mit Jodalkylen (RJ) zu Tetraalkylphosphoniumjodiden, die gegen wässeriges KOH beständig sind (vgl. die Tetraalkylammoniumjodide im Artikel „Ammoniakderivate"); aus ihnen erhält man mittels feuchten $Ag_2O(AgOH)$ die stark basischen Tetraalkylphosphoniumhydroxyde; nachstehendes Schema versinnbildlicht diese Vorgänge:

$$PR_3 + RJ \rightarrow PR_4J \text{ (durch } Ag_2O) \rightarrow PR_4OH.$$

Einzelne Glieder:

Methylphosphin	$P(CH_3)H_2$	Sdp -14^0.
Aethylphosphin	$P(C_2H_5)H_2$	Sdp 25^0.
Dimethylphosphin	$P(CH_3)_2H$	Sdp 25^0.
Diäthylphosphin	$P(C_2H_5)_2H$	Sdp 85^0.
Trimethylphosphin	$P(CH_3)_3$	Sdp 40^0.
Triäthylphosphin	$P(C_2H_5)_3$	Sdp 127^0.

Die tertiären Phosphine verbinden sich leicht mit O (siehe unter Verhalten), S, Cl_2, Br_2. Triäthylphosphin liefert mit CS_2 rote, unzersetzt sublimierende Blättchen vom Fp 95^0, deren Entstehung zum Nachweis von CS_2 verwendet wird. Die Trialkylphosphine verhalten sich also etwa wie ein Metall der Erdalkaligruppe, während die Tetraalkylphosphoniumgruppe in ihrem Verhalten einem Alkalimetall ähnelt.

Tetramethyl- und Tetraäthylphosphoniumhydroxyd $P(CH_3)_4OH$ und $P(C_2H_5)_4OH$ sind kristallinische, an der Luft zerfließliche Massen. Während sie in ihrer Basizität den Tetraalkylammoniumhydroxyden nahestehen, unterscheiden sie sich von diesen durch ihre Zersetzlichkeit beim Erhitzen, die nach dem Schema

$$PR_4OH = PR_3O + RH$$

also unter Bildung eines Kohlenwasserstoffes und eines Alkylphosphinoxyds verläuft.

Tetramethyl- und Tetraäthylphosphoniumjodid $P(CH_3)_4J$ und $P(C_2H_5)_4OH$ bilden weiße Kristalle und zerfallen beim Erhitzen in Trialkylphosphine und Alkyljodide.

Aethylphosphindichlorid $P(C_2H_5)Cl_2$, Sdp 117^0; Propylphosphindichlorid $P(C_3H_7)Cl_2$, Sdp 143^0; Isoamylphosphindichlorid $P(C_5H_{11})Cl_2$, Sdp 183^0 (Darstellung siehe unter „Alkylphosphinigsäuren").

Aethylphosphintetrachlorid $P(C_2H_5)Cl_4$. Phosphorpentachlorid-ähnliche Substanz, entsteht aus $P(C_2H_5)Cl_2 + Cl_2$; zerfällt beim Erhitzen in PCl_3 und C_2H_5Cl.

Aethylphosphinoxychlorid $P(C_2H_5)OCl_2$, Aethyloxychlorphosphin, $Sdp_{50\,mm}$ 78^0, entsteht aus $P(C_2H_5)Cl_4$ und SO_2.

2. Alkylphosphinoxyde. Bildung siehe unter 1. Diese Verbindungen entstehen auch nach der Gleichung

$$PCl_3O + 3\,RMgCl = PR_3O + 3\,MgCl_2.$$

Triäthylphosphinoxyd $P(C_2H_5)_3O$, Fp 53^0, Sdp 243^0, bildet mit Salzsäure $P(C_2H_5)_3Cl_2$.

3. Alkylphosphinigsäuren.

a) Monoalkylphosphinigsäuren entstehen nach den Gleichungen

$$R_2Hg + PCl_3 = RHgCl + \underset{\text{(Alkylchlorphosphin)}}{RPCl_2}$$

$$RPCl_2 + 2\,H_2O = RHPO(OH) + 2\,HCl$$

Die Monoalkylphosphinigsäuren sind sirupdicke Flüssigkeiten; beim Erwärmen geben sie Alkylphosphine und Alkylphosphinsäuren:

$$3\,RHPO(OH) = RPH_2 + 2\,RPO(OH)_2.$$

b) Dialkylphosphinigsäuren; über die Bildung siehe unter 1.

Dimethylphosphinigsäure $(CH_3)_2PO(OH)$, Fp 76^0, unzersetzt flüchtig.

4. Alkylphosphinsäuren. Ueber die Entstehung siehe bei 1 unter „Verhalten" der Phosphine, und unter 3.

Digitized by Google

Methylphosphinsäure $CH_3PO(OH)_2$, Fp 105°.

Aethylphosphinsäure $C_2H_5PO(OH)_2$, Fp 44°.

II. Aromatische Verbindungen.

Das Ausgangsprodukt für die meisten aromatischen Phosphorverbindungen ist das

Phosphenylchlorid $C_6H_5PCl_2$; Sdp 225° (corr.); d^{20} 1,319; stark lichtbrechende, an der Luft rauchende Flüssigkeit; entsteht 1. beim Durchleiten von C_6H_6 und PCl_3 durch rotglühende Röhren; 2. beim Erhitzen von $(C_6H_5)_2Hg$ mit PCl_3; 3. beim Erhitzen von C_6H_6 mit PCl_3 und $AlCl_3$; verbindet sich mit Cl_2, O und S zu $P(C_6H_5)Cl_4$, $P(C_6H_5)Cl_2O$, $P(C_6H_5)Cl_2S$.

Phenylphosphin $P(C_6H_5)H_2$, **Phosphanilin**, Sdp 160°; aus Phosphenylchlorid mittels HJ und Alkohol; gibt mit HJ **Phenylphosphoniumjodid**.

Diphenylphosphin $P(C_6H_5)_2H$, Sdp 280°; aus Diphenylphosphinchlorid und NaOH.

Triphenylphosphin $P(C_6H_5)_3$, Fp 75°, Sdp 360°, aus Phosphenylchlorid und C_6H_5Br durch Na; verbindet sich mit Br_2 zu $P(C_6H_5)_3Br_2$, das mit NaOH **Triphenylphosphindihydroxyd** $P(C_6H_5)_3(OH)_2$ liefert.

Diphenylphosphinchlorid $P(C_6H_5)_2Cl$, Sdp 320°, aus Phosphenylchlorid und $Hg(C_6H_5)_2$.

Phenylphosphintetrachlorid $P(C_6H_5)Cl_4$, **Phosphenyltetrachlorid**, Fp 73°.

Phenylphosphinoxychlorid $P(C_6H_5)Cl_2O$, **Phosphenyloxychlorid**, Sdp 258°.

Phosphenyloxyd $P(C_6H_5)H_2O$, kristallinisch, in Wasser löslich; entsteht durch Autoxydation von Phenylphosphin.

Triphenylphosphinoxyd, $P(C_6H_5)_3O$, Fp 143°, Sdp ca. 360°, aus Triphenylphosphindihydroxyd bei 100°.

Phenoxyldiphenylphosphin $P(C_6H_5)_2O.C_6H_5$, Sdp 62 mm 270°, ist isomer mit Triphenylposphinoxyd.

Phosphenylige Säure $P(C_6H_5)HO.OH$ Fp 70°; aus Phosphenylchlorid und H_2O.

Diphenylphosphinigsäure $P(C_6H_5)_2O.OH$, Fp 190°; aus Diphenylphosphinchlorid und NaOH (neben Diphenylphosphin).

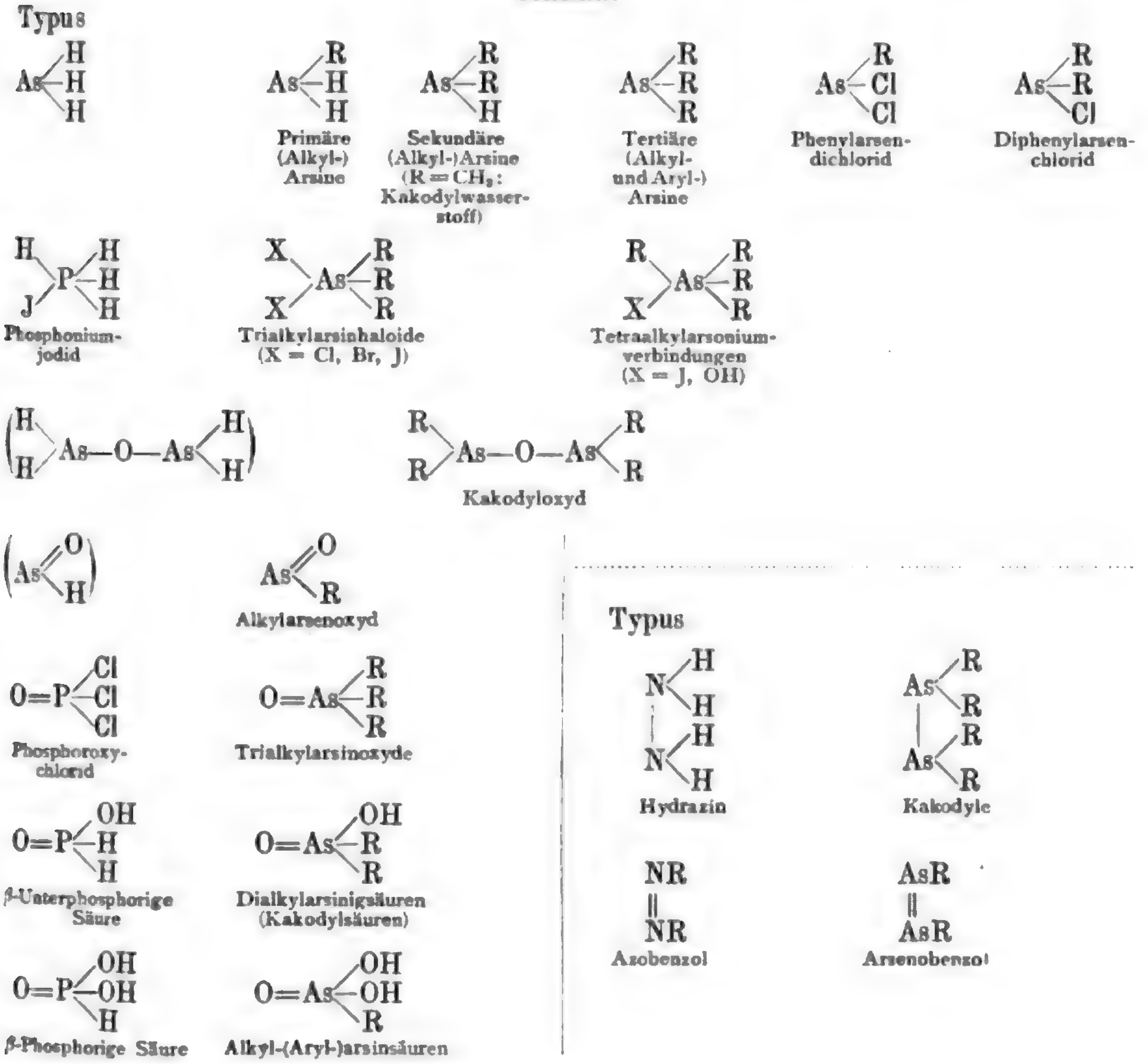
Phosphenylsäure $P(C_6H_5)O(OH)_2$, Fp 150°, aus Phosphenyltetrachlorid und H_2O.

Phosphinobenzol $P(C_6H_5)O_2$, Fp 100°, aus Phosphenyloxychlorid und phosphenyliger Säure.

Phosphobenzol $(C_6H_5)P=PC_6H_5$, Fp 150°, an Phosphenylchlorid und Phenylphosphin.

Verbindungen des Arsens As< und >As<. (Cadet, Bunsen u. a.).

Schema:



I. Aliphatische Verbindungen.

1. Arsine und Alkylarsoniumverbindungen.

Bildungsweisen:

Nach den Gleichungen

$$2AsCl_3 + 3ZnR_2 = 2AsR_3 + 3ZnCl_2$$
$$AsNa_3 + 3RJ = AsR_3 + 3NaJ$$
$$AsR_3 + RJ = AsR_3 . RJ$$

Eigenschaften. Die Arsine und die dreiwertigen Halogenarsine (siehe unten) zeigen keine oder nur sehr schwache basische Eigenschaften, entsprechend dem metallähnlichen Charakter des Arsens; sie sind farblose Flüssigkeiten von betäubendem Geruch und äußerst reizender Wirkung auf die Schleimhäute.

Verhalten. Die Arsine sind leicht oxydierbar, und zwar liefern die primären Arsine $RAsH_2$ Alkylarsenoxyde RAsO und Alkylarsinsäuren $RAsO(OH)_2$, die sekundären Arsine R_2AsH Kakodyl $R_2As—AsR_2$, Kakodyloxyd $R_2As—O—AsR_2$ und Kakodylsäure $R_2AsO.OH$, die tertiären Arsine R_3As Trialkylarsinoxyde R_3AsO, ferner addieren sie Halogen nach dem Schema

$$As(Cl,R)_3 + Cl_2 = As(Cl,R)_3.Cl_2$$

unter Bildung von fünfwertigen Arsinhaloiden, die um so leichter Halogenalkyl abspalten, je reicher an Halogen sie sind:

$$As(CH_3)_3 + Cl_2 \longrightarrow As(CH_3)_3Cl_2 \xrightarrow{\text{bei starkem Erhitzen}} As(CH_3)_2Cl + CH_3Cl$$
$$As(CH_3)_2Cl + Cl_2 \longrightarrow As(CH_3)_2Cl_3 \xrightarrow{50^\circ} As(CH_3)Cl_2 + CH_3Cl$$
$$As(CH_3)Cl_2 + Cl_2 \longrightarrow As(CH_3)Cl_4 \xrightarrow{0^\circ} AsCl_3 + CH_3Cl.$$

Das Halogen in den Halogenarsinen und (fünfwertigen)Arsinhaloiden ist entsprechend den nachstehenden Schemen leicht gegen die äquivalente Menge Sauerstoff austauschbar:

$$AsRCl_2 + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Alkylarsenoxyd}}{AsRO} + 2HCl$$
$$2AsR_2Cl + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Kakodyloxyd}}{(AsR_2)_2O} + 2HCl$$
$$AsRCl_4 + 3H_2O \longrightarrow \underset{\text{Alkylarsinsäure}}{AsRO(OH)_2} + 4HCl \text{ usw.}$$

Methylarsin $As(CH_3)H_2$, Sdp $+2^\circ$, nicht selbstentzündlich.

Aethylarsin $As(C_2H_5)H_2$, Sdp 36°, nicht selbstentzündlich.

Dimethylarsin $As(CH_3)_2H$, **Kakodylwasserstoff**, Sdp 36°, selbstentzündlich; addiert Säuren und Halogenalkyl.

Trimethylarsin $As(CH_3)_3$ und **Triäthylarsin** $As(C_2H_5)_3$, flüssig, addieren leicht O, S, Br_2, J_2, verhalten sich also ähnlich wie ein zweiwertiges Metall.

Tetramethylarsoniumjodid $As(CH_3)_4J$ und **Tetraäthylarsoniumjodid** $As(C_2H_5)_4J$ sind gut kristallisierende, ziemlich beständige Verbindungen, die durch feuchtes Silberoxyd in **Tetramethylarsoniumhydroxyd** $As(CH_3)_4$-OH und **Tetraäthylarsoniumhydroxyd** $As(C_2H_5)_4OH$, kristallinische, zerfließliche, stark basische Stoffe, übergeführt werden.

Methylarsendichlorid CH_3AsCl_2, Sdp 133°, in H_2O löslich.

Dimethylarsenchlorid $(CH_3)_2AsCl$, **Kakodylchlorid**, Sdp 100°; Bildungsweise siehe unter 1. bei „Verhalten"; entsteht auch aus Kakodyloxyd und HCl.

Dimethylarsencyanid $(CH_3)_2AsCN$, **Kakodylcyanid**, Fp 36°, Sdp 140°, aus dem Chlorid mit $Hg(CN)_2$.

2. Kakodyloxyde, Alkylarsenoxyde, Alkylarsinoxyde, Alkylarsinigsäuren und Alkylarsinsäuren.

Die Oxydationsprodukte der Arsine entstehen u. a. auch nach folgenden Gleichungen:

$$4CH_3COOK + As_2O_3 = \underset{\text{Kakodyloxyd}}{[(CH_3)_2As]_2O} + 2K_2CO_3 + 2CO_2$$

$$AsO_3K_3 + RJ = \underset{\text{Alkylarsinsaures K}}{RAsO(OK)_2} + KJ$$

$$RAsO(OH)_2 + SO_2 = \underset{\text{Alkylarsenoxyd}}{RAsO} + H_2SO_4$$

$$RAsO + RJ + H_2O = \underset{\substack{\text{Dialkylarsinigsäure} \\ \text{(Kakodylsäure)}}}{R_2AsO(OH)} + HJ$$

Kakodyloxyd $[(CH_3)_2As]_2O$ (κακώδης = übelriechend), **Alkarsin**, Fp −25°, Sdp 120°, d^{15} 1,462; ist in rohem Zustand (nach der ersten der vorstehenden Gleichungen erhalten) infolge eines Gehaltes an Kakodyl selbstentzündlich; wird in reinem Zustand aus **Dimethylarsenchlorid** $(CH_3)_2AsCl$, **Kakodylchlorid**, und KOH erhalten; unlöslich in Wasser, sehr leicht löslich in Alkohol und Aether. Die Entstehung des höchst unangenehm und betäubend riechen den Kakodyloxyds aus Essigsäure und arseniger Säure stellt eine äußerst empfindliche Reaktion auf jede der Komponenten dar.

Methylarsenoxyd CH_3AsO, Fp 95°; gibt mit H_2S **Methylarsensulfid** CH_3AsS, Fp 110°.

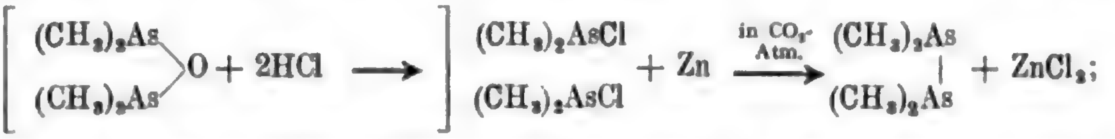
Dimethylarsinigsäure $(CH_3)_2AsO . OH$, **Kakodylsäure**, Fp 200°; geruchlos; leicht löslich in Wasser; wird als medizinisches Präparat

Digitized by Google

verwendet; ist ein amphoterer Elektrolyt; bei langsamer Oxydation gibt sie kakodylsaures Kakodyloxyd $As(CH_3)_2.O.As(CH_3)_2O$.

Methylarsinsäure $CH_3AsO(OH)_2$, Fp 161°; das Na-Salz stellt das pharmazeutische Präparat Arrhenal dar. Durch Reduktion mit Hypophosphiten in schwefelsaurer Lösung entsteht Methylarsen $[(CH_3)As]_x$, ein gelbes, sich leicht polymerisierendes Oel.

3. Kakodyle. Arsendimethyl, $(CH_3)_2As.As(CH_3)_2$, (Methyl-)Kakodyl, Fp —6°, Sdp 170°, entsteht aus Kakodylchlorid $(CH_3)_2AsCl$ durch Erhitzen mit Zinkspänen:



Farblose, in Wasser unlösliche Flüssigkeit von starkem, zum Erbrechen reizendem Geruch, die sich sehr leicht an der Luft entzündet.

II. Aromatische Verbindungen.

Die Darstellung dieser Verbindungen geschieht nach Methoden, die den für die Synthese der aromatischen Phosphorverbindungen (s. diese) dienenden analog sind. Dargestellt sind worden u. a.:

Phenylarsendichlorid $As(C_6H_5)Cl_2$, Phenylarsenchlorür.

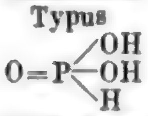
Diphenylarsenchlorid $As(C_6H_5)_2Cl$.

Triphenylarsin $As(C_6H_5)_3$.

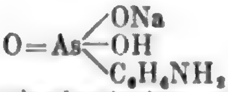
Arsenobenzol $(C_6H_5)As{=}As(C_6H_5)$.

Medizinisch wichtig sind:

Typus



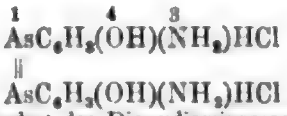
β-Phosphorige Säure



p-Aminophenylarsinsaures Na „Atoxyl"

Acetyl-p-aminophenylarsinsaures Na „Arsacetin"

Azobenzol

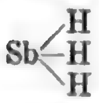


Dichlorhydrat des Dioxydiaminoarsenobenzols „Salvarsan (Ehrlich-Hata)"

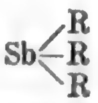
(s. auch den Artikel „Pharmazeutische Präparate").

Verbindungen des Antimons Sb< und >Sb< (Löwig, Landolt).

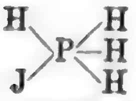
Typus



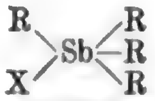
Antimonwasserstoff



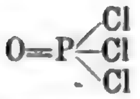
Tertiäre Stibine



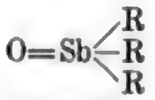
Jodphosphonium



Tetraalkylstiboniumverbindungen (X = J, OH)



Phosphoroxychlorid



Trialkylstibinoxyde

Die Bildungsweise dieser Verbindungen ist der für die Darstellung der analogen Arsenverbindungen ganz entsprechend.

Trimethylstibin $Sb(CH_3)_3$, Sdp 81°, d^{15} 1,523; Triäthylstibin $Sb(C_2H_5)_3$, Sdp 159°; in Wasser unlösliche, selbstentzündliche Flüssigkeiten; addieren direkt O, S, Cl_2; zersetzen konz. HCl unter H_2-Entwickelung:

$$SbR_3+2HCl=SbR_3Cl_2+H_2,$$

verhalten sich also ähnlich wie ein zweiwertiges Metall.

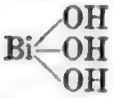
Tetramethylstiboniumjodid $Sb(CH_3)_4J$, Tetramethylstiboniumhydroxyd $Sb(CH_3)_4$-OH und die entsprechenden C_2H_5-Verbindungen sind den analogen As-Verbindungen sehr ähnlich.

Triäthylstibinoxyd $Sb(C_2H_5)_3O$, löslich in Wasser; bekannt sind auch $Sb(C_2H_5)_3S$ (das sich in Lösung etwa wie CaS verhält) und $Sb(C_2H_5)_3Cl_2$.

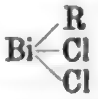
Triphenylstibin $Sb(C_6H_5)_3$, Fp 48°, entsteht bei der Einwirkung von Na auf C_6H_5Cl + $SbCl_3$ in Benzol.

Verbindungen des Wismuts Bi<.

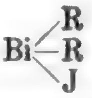
Typus



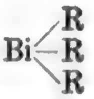
Wismuthydroxyd



Wismutalkyldichlorid



Wismutdialkyljodid



Tertiäre Bismutine

O=Bi—Cl

Wismutoxychlorid

O=Bi—R

Wismutäthyloxyd

Digitized by Google

Die **Bildungsweisen** der organischen Wismutverbindungen sind den beim Arsen besprochenen analog

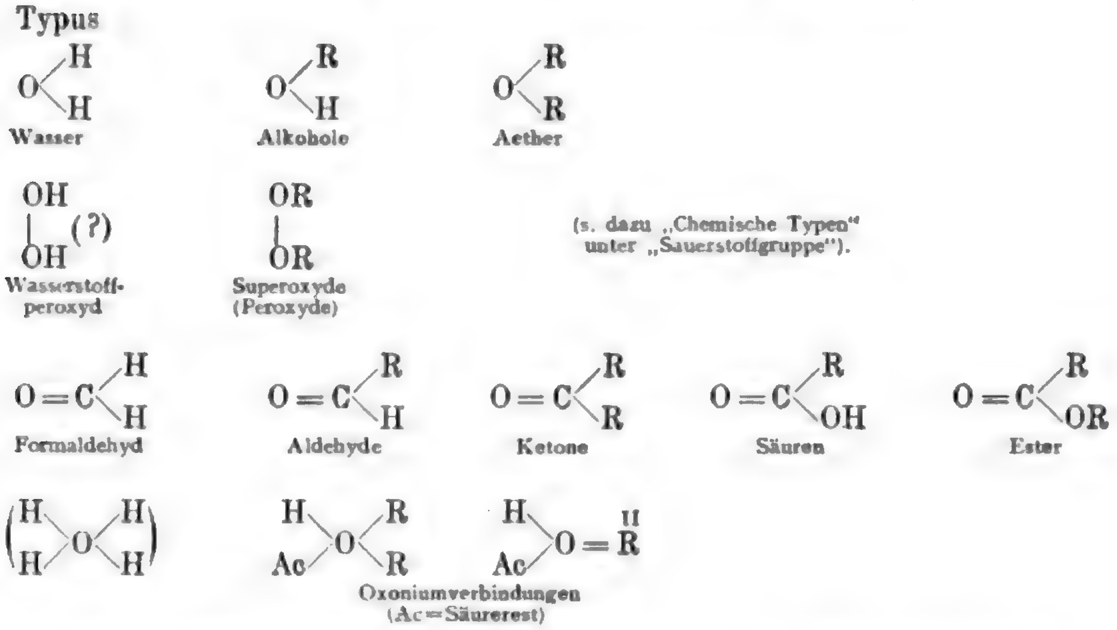
Eigenschaften. Infolge seiner stark metallischen Natur vermag das Wismut keine Bismutoniumverbindungen zu liefern; auch sind in den tertiären Bismutinen die Alkylreste nicht so fest mit dem Bi verbunden, wie mit As und Sb in den analogen Arsinen und Stibinen.

Wismuttrimethyl $Bi(CH_3)_3$ und **Wismuttriäthyl** $Bi(C_2H_5)_3$ explodieren beim Erhitzen unter gewöhnlichem Druck, sind aber unter vermindertem Druck unzersetzt destillierbar. Das Trimethyl gibt mit Chlorwasserstoffsäure CH_4 und $BiCl_3$, das Triäthyl ist selbstentzündlich; mit J_2 gibt es das Jodid $Bi(C_2H_5)_2J$, mit $HgCl_2$ das Dichlorid $Bi(C_2H_5)Cl_2$. Letzteres liefert in alkoholischer Lösung mit KOH das Oxyd $Bi(C_2H_5)O$ (selbstentzündliches gelbes Pulver), mit $AgNO_3$ das Salz $Bi(C_2H_5)(O.NO_2)_2$.

Wismuttriphenyl $Bi(C_6H_5)_3$, Fp 78°, aus $BiNa_3$ und C_6H_5Br.

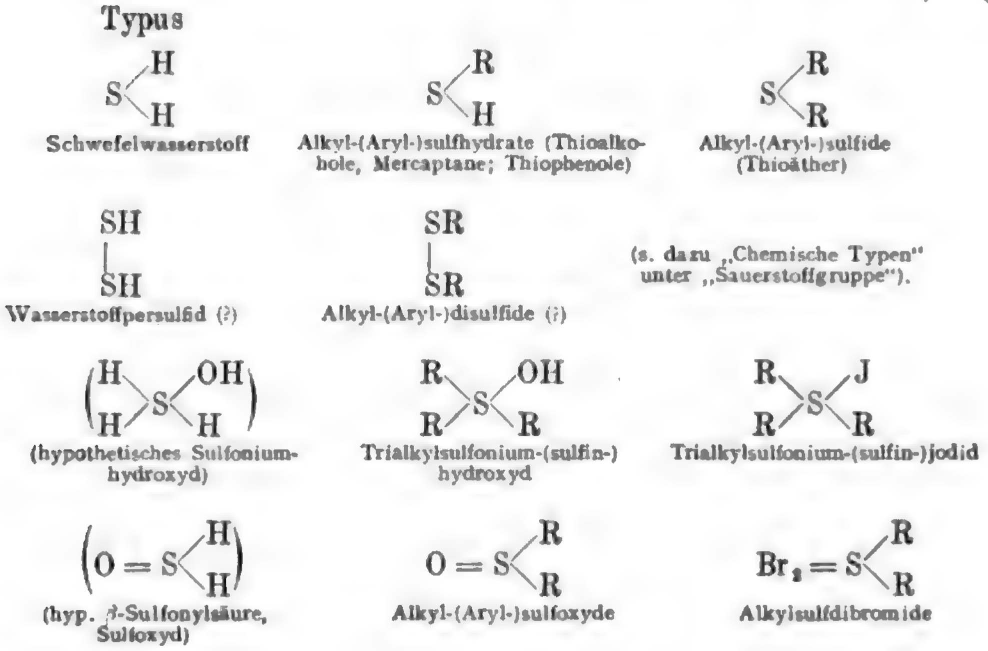
8. Sauerstoffgruppe.

Verbindungen des Sauerstoffs O< und >O<.

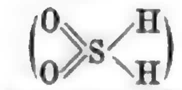


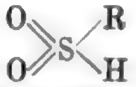
Diese Verbindungsklassen werden in den entsprechenden Artikeln behandelt; man sehe auch den Artikel „**Heterocyklische Systeme**" u. a. sowie den Artikel „**Sauerstoff**".

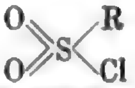
Verbindungen des Schwefels S<, >S<, >S<.

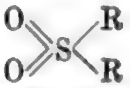


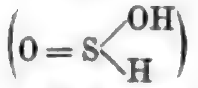
Typus

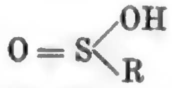

(hyp. β-Sulfonylsäure)

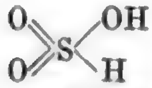

β-Alkylsulfinsäuren (?)


Alkylsulfochloride

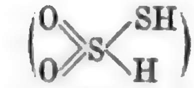

Alkylsulfone, Arylsulfone, Alkylarylsulfone

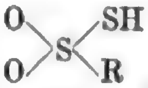

hyp. α-Sulfoxylsäure

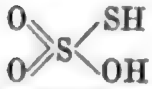

α-Alkyl-(Aryl-)sulfinsäuren (Ester)

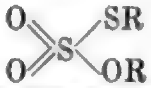

Unsymm. β-Schweflige Säure

Alkyl-(Aryl-)sulfosäuren (-sulfonsäuren)


(hyp. Thioschweflige Säure)


Alkyl-(Aryl-)thiosulfosäuren (ihre Ester sind die Alkyldisulfoxyde)

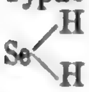

Thioschwefelsäure

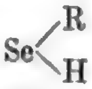

Alkylthioschwefelsäuren.

Näheres über diese Körperklassen wird in den Artikeln „Sulfoverbindungen" und „Thioverbindungen" mitgeteilt; man sehe auch den Artikel „Ester".

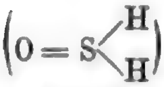
Verbindungen des Selens Se< und >S<.

Typus


Selenwasserstoff

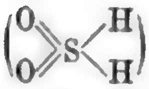

Alkyl-(Aryl-)Selenmercaptane

Selenalkyle(-aryle)


hyp. β-Sulfonylsäure

Alkyl-(Aryl-)selenoxyde

Alkyl-(Aryl-)Selendichloride


(hyp. β-Sulfoxylsäure)

Diarylselenon

Bildungsweisen: Nach den Gleichungen

$$\mathrm{KSeH\ (resp.\ KSe_2) + \underset{\text{Alkylschwefelsaures Ba}}{(SO_2.OR.O)_2Ba} \longrightarrow SeRH\ (resp.\ SeR_2)}$$

Aethylselenmercaptan C_2H_5SeH, farblose, leicht flüchtige, widerlich riechende Flüssigkeit; bildet mit HgO leicht ein Mercaptid (s. „Thioverbindungen").

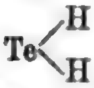
Selenäthyl $Se(C_2H_5)_2$, Sdp 108°, gelbes schweres Oel, das sich mit den Halogenen zu Verbindungen $Se(C_2H_5)_2.Hal_2$ vereinigt, und mit HNO_3 das Oxyd $Se(C_2H_5)_2O$ liefert; dieses gibt mit Salpetersäure das Salz $Se(C_2H_5)_2(ONO_2)_2$.

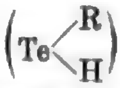
Phenylselenmercaptan C_6H_5SeH, Phenylselenhydrat, Fp 183°.

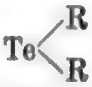
Selenphenyl $(C_6H_5)_2Se$, Diphenylselenid, Sdp 14 mm 163°.

Verbindungen des Tellurs Te< und >Te<.

Typus:

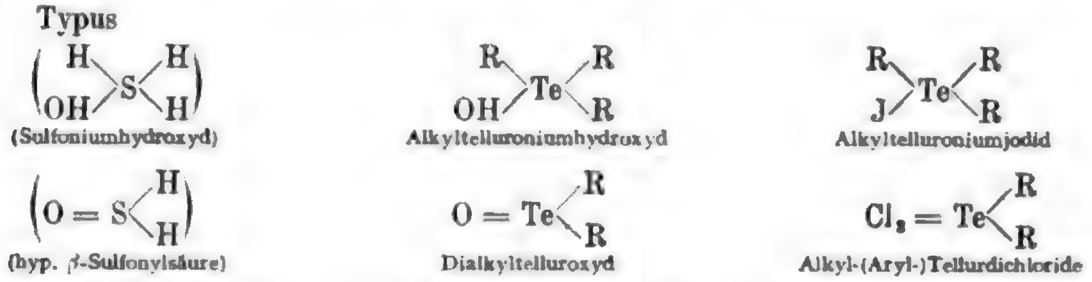

Tellurwasserstoff


(Te-Mercaptane sind nicht bekannt)


Tellurdialkyle(-aryle)

Digitized by Google

Typus



Bildungsweisen: Analog der Darstellung der Selenverbindungen.

Tellurdimethyl $Te(CH_3)_2$, Sdp 82° und Tellurdiäthyl $Te(C_2H_5)_2$, Sdp 137,5°, gelbe Oele.

Dimethyltelluroxyd $Te(CH_3)_2O$, kristallinisch, zerfließlich, stark basisch, etwa wie CaO.

Tellurdiphenyl $Te(C_6H_5)_2$, $Sdp_{10\,mm}$ 174°.

Verbindungen des Wolframs >W<.

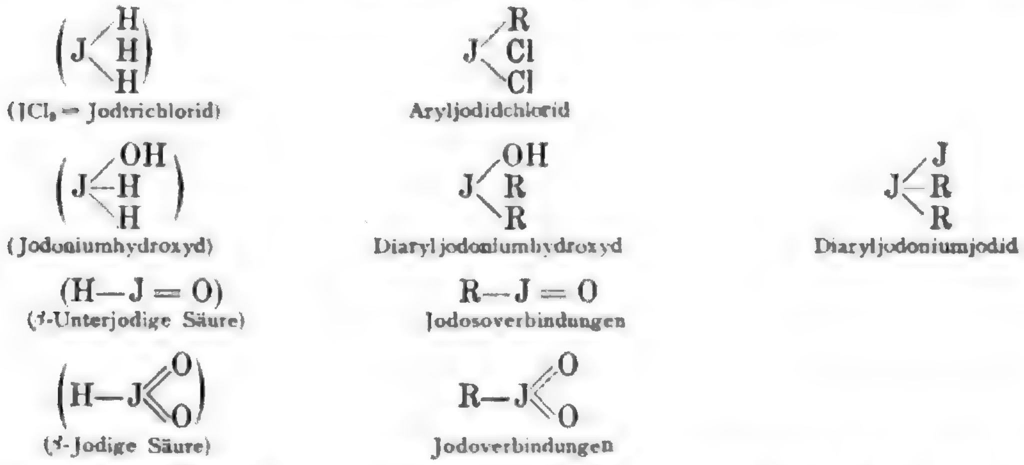
Wolframtetramethyldijodid $W(CH_3)_4J_2$, Fp. 110°; aus W und CH_3J bei 240°; gibt mit Ag_2O das Oxyd $W(CH_3)_4O$.

9. Fluorgruppe.

Verbindungen der Halogene Hal—(F—, Cl—, Br—, J—), J< und >J<.

Typus:

Hal.H	Hal.R	$(Hal)_2\overset{II}{R}$	$(Hal)_3\overset{III}{R}$	$Hal\overset{II}{R}—\overset{II}{R}Hal$, usw.
Halogenwasserstoff	Halogensubstitutionsprodukte der Kohlenwasserstoffe usw.			



Die organischen Halogenverbindungen die sich vom Typus Hal.H ableiten, sind als Ester aufzufassen und werden in dem Artikel „Ester", ferner (als Substitutionsprodukte) in den Artikeln „Aliphatische Kohlenwasserstoffe", „Benzolreihe", „Fettsäuren" usw. behandelt.

Von aliphatischen Verbindungen des J< und >J< seien erwähnt die Dihaloide der „Oniumjodide" $X\overset{n}{R}_{(n-1)}J(Hal)_2$, und die Jodosochloridchloracrylsäure

Cl—J—CH = CCl.CO.O.
(Ring zwischen J und O)

Wichtiger sind die hierhergehörigen aromatischen Verbindungen:

Phenyljodidchlorid $C_6H_5JCl_2$, gelbe Nadeln, entsteht beim Einleiten von Cl_2 in eine Lösung von C_6H_5J in Chloroform; mit Wasser liefert es

Jodosobenzol C_6H_5JO, amorphe, gegen 210° explodierende Substanz; scheidet aus angesäuerter KJ-Lösung J_2 aus, indem es in C_6H_5J übergeht; es hat basische Natur und liefert Salze, z. B. $C_6H_5J(O.OC.CH_3)_2$. Beim Erhitzen, beim Kochen mit Wasser oder durch Oxydation mit ClOH liefert das Jodosobenzol das

Jodobenzol $C_6H_5JO_2$, eine bei 227° explodierende Substanz von superoxydartigem Charakter; kann auch direkt aus C_6H_5J durch Oxydation mittels Persulfat und konz. H_2SO_4 erhalten werden; mit konz. HF entsteht aus Jodobenzol das Benzoljodofluorid $C_6H_5JOF_2$.

Diphenyljodoniumhydroxyd $(C_6H_5)_2JOH$ ist nur in wässeriger Lösung bekannt; es entsteht beim Behandeln eines Gemenges von Jodoso- und Jodobenzol mit feuchtem Ag_2O; es reagiert stark alkalisch und bildet Salze, z. B. $(C_6H_5)_2J.Cl$, $(C_6H_5)_2J.J$, $(C_6H_5)_2J.NO_3$, welche eine gewisse Aehnlichkeit mit den Salzen des Thalliums haben; Chlorid und Bromid bilden schwerlösliche weiße Niederschläge, Carbonat und Nitrat sind leicht löslich.

o-Jodosobenzoesäure $C_6H_4(COOH)JO$, atlasglänzende Blätter, verpufft bei 244°, aus o-Jodbenzoesäure mit rauchender HNO_3.

o-Jodobenzoesäure $C_6H_4(COOH)JO_2$, explodiert heftig bei 230°; entsteht durch NaOH aus

o-Jodidchloridbenzoesäure $C_6H_4(COOH)$-

JCl_2; wird durch Chlorieren der o-Jodbenzoesäure in Chloroform erhalten.

Auch die entsprechenden Naphtalinderivate sind bekannt.

10. Eisengruppe. Rutheniumgruppe. Osmiumgruppe.

Metallorganische Verbindungen der Elemente dieser Gruppen sind nicht bekannt.

Ueber die physiologische Wirkung der in diesem Artikel behandelten Verbindungen siehe die Artikel „Pharmazeutische Präparate" und „Gifte"; über die optische Aktivität vgl. den Artikel „Drehung der Polarisationsebene".

Literatur. ***V. v. Richter, R. Anschütz, G. Schroeter***, *Chemie der Kohlenstoffverbindungen. 11. Aufl. Bd. I. Leipzig 1909. 10. Aufl. Bd. II. Leipzig 1905.* — ***F. Beilstein***, *Handbuch der organischen Chemie. Hamburg und Leipzig 1893—1906.* — ***V. Meyer und P. Jacobson***, *Lehrbuch der organischen Chemie, Leipzig 1902—1911.* — ***J. Schmidt***, *Die organischen Magnesiumverbindungen, Stuttgart 1908.* — ***M. Scholtz***, *Die optisch-aktiven Verbindungen des Schwefels, Selens, Zinns, Siliciums und Stickstoffs, Stuttgart 1906.*

K. Schaum.

Organographie der Pflanzen.

1. Begriffsbestimmung. 2. Symmetrieverhältnisse. 3. Verhältnis zur Entwickelungslehre. 4. Morphologie, Homologieen. 5. Kausale, experimentelle und genetische Morphologie.

1. Begriffsbestimmung. Viele niedere Pflanzen, z. B. Bakterien, Saccharomyceten, manche grüne oder blaue Algen verrichten alle Lebensfunktionen mit ihrem einzelligen Körper. Schon bei den Einzelligen besteht eine Differenzierung in verschieden geformte und verschiedenen Funktionen angepaßte Organe, die nur Zellteile sind. Die Zellen der grünen Süßwasseralge Chlamydococcus sind oval, ihr einzelliger Körper besitzt neben Plasma und Zellkern einen grünen Chromatophor mit Pyrenoiden, pulsierende Vakuolen, einen Augenfleck, zwei die Bewegung vermittelnde Cilien, sowie die starre Zellmembran. Bei den höheren Pflanzen sind die Organe bald aus einzelnen Zellen (z. B. manche Trichome), bald aus Geweben oder Systemen verschiedener Gewebe gebildet, wie z. B. die Wurzeln, Blätter usw. Die Lehre von den Organen der Pflanzen, die nicht nur ihre Form, sondern auch ihre Funktion berücksichtigt, heißt Organographie.

Die allgemeinste Differenzierung der Pflanzenorgane ist diejenige in vegetative und Vermehrungsorgane, die bald nur zeitlich (durch Funktionswechsel) bald auch räumlich getrennt gebildet werden. Ferner ist zu unterscheiden zwischen den besonderen Funktionen gewidmeten Dauerorganen und den meristischen, die während einer beschränkten oder unbegrenzten Zeit neue Organe bilden und die Vegetationspunkte genannt werden. Die Vegetationspunkte sind entweder Teile einer einzigen Zelle wie bei der fortwachsenden Zelle eines Basidiobolus oder Ancylistes, oder Scheitelzellen wie bei den Sphacelarien oder Archegoniaten, oder endlich größere Gewebesysteme, wie sie die Knospen der Phanerogamen bilden. Die Verschiedenheiten der Gestalt, der Größe, der Funktionsdauer, der Lage und der Verbindungsweise, der Entfernungen in seitlicher und longitudinaler Richtung, endlich die Reihenfolge ähnlicher oder verschiedener Organe sind Ursache der bunten Mannigfaltigkeit der Form der Pflanze.

2. Symmetrieverhältnisse. Nur wenige erwachsene Pflanzen, wie z. B. die grüne, kugelige und einzellige Eremosphaera, oder die mehrzelligen Kolonien eines Coelastrum sind kugelig, in vielen Ebenen symmetrisch, ohne eine longitudinale Längsachse, also gleichachsig gebaut, ähnlich wie verschiedene Sporen, Pollenkörner, Eier oder Zygoten. Bei anderen niederen Pflanzen ist eine Längsachse des Körpers ausgebildet, ohne eine Differenzierung der beiden Pole derselben. Es sind einachsige Individuen wie die Bacillus- oder Peniumarten. Am häufigsten ist dagegen bei den Pflanzen eine Differenz in der Gestalt und Funktion der beiden Pole der Pflanze oder ihrer Organe vorhanden, es ist zwischen Basis und Spitze zu unterscheiden. Das ist die Erscheinung der Polarität bei den polar gebauten Arten. Diese ist schon bei manchen einzelligen Pflanzen, wie z. B. bei der Schizophyceae Chamaesiphon vorhanden, sie kommt bei den festsitzenden Pflanzen wie auch bei allen mit Vegetationspunkten wachsenden vor.

Die polar gebauten Pflanzen oder Organe zeigen verschiedene Symmetrieverhältnisse, und zwar sind sie:

a) radiär, falls sie 3 oder mehr longitudinale Symmetrieflächen besitzen, oder wenigstens keine Differenz einer Vorder- und Hinter-, Links- und Rechtsseite aufweisen. Radiär sind z. B. die Kronen der Fichte, die Blumen des Ranunculus, die Früchte des Papaver;

b) bilateral, wenn zwei longitudinale Symmetrieebenen vorhanden sind, z. B. die Laminarien, die Flachsprosse der Mühlenbeckia platyclada, die Sonnenblätter des Eucalyptus, die beblätterten Sprosse der Gramineen;

c) **dorsiventral**, wenn sie nur eine Symmetrieebene besitzen, oder gar ohne solche sind. Sie bilden ihre beiden Seiten verschieden aus und weisen eine ventrale und eine dorsale Seite auf, z. B. die meisten Lebermoose, die Laubblätter der meisten Pflanzen, die Blumen der Labiaten, der Embryo der Gramineen.

3. Verhältnis zur Entwickelungslehre. Während der Entwickelung verändert sich die Gestalt und Funktion der Pflanze und ihrer Organe. Sogar die höchst entwickelten sind im Stadium der Zygote einzellig. Unter normalen Lebensbedingungen der Außenwelt entwickelt sich aus derselben infolge spezifischer Beschaffenheit des lebenden Plasma die erwachsene Pflanze. Die jeder Art der Form und Funktion nach eigene Entwickelung infolge der inneren, uns nicht näher bekannten Ursachen nennen wir nach Pfeffer Automorphose. Durch Veränderung der normalen Lebensbedingungen oder durch verschiedene Eingriffe von außen wird die normale Entwickelung der Pflanze vielfach anders gelenkt, wodurch die Pflanze oder ihre Organe von den automorphotisch entwickelten verschieden erscheinen. Der auf diese Weise induzierte Entwickelungsgang heißt Aitiomorphose (vielfach auch Heteromorphose). Die Verschiedenheit der Gestalt einer Pflanze, die ihre Lage gegen die Lotlinie verändert hat, einer belichteten und etiolierten, einer Pflanze der Ebene und der Hochgebirge, einer trocken oder im Wasser wachsenden, die Bildung der Cecidien unter dem Einfluß der Tiere oder Pilze, bei der Regeneration erzielte neue Wachstumserfolge liefern Beispiele der Aitiomorphose. Der Gärtner und speziell der Züchter der Zwergobstbäume wendet vielfach morphogenetische Eingriffe an, um nach Belieben Lang- in Kurzsprosse oder umgekehrt aitiomorphotisch zu verwandeln und so die begehrte Form und Funktion (z. B. die Bildung der Früchte an jungen Exemplaren) zu erzielen. Nicht alle Arten sind in dieser Richtung gleich plastisch, manche starre widerstehen hartnäckig diesen oder jenen Eingriffen, die plastischen werden natürlich von dem Experimentator am liebsten benutzt. Zu den höchst plastischen gehören z. B. die vegetativen Organe vieler Pilze, bei denen durch die Beschaffenheit des Mediums sehr verschiedene Gestalt erzielt wird, oder die nackten Plasmodien der Schleimpilze, die fortwährend ihre Umrisse verändern.

Während der Entwickelung verändert sich die Gestalt der Pflanze. Sogar an einer erwachsenen, wie z. B. an einem Baum sind neben erwachsenen Dauerorganen, z. B. den Blättern, andere erst in Entwickelung begriffene vorhanden. Die Dauerorgane, wie z. B. die erwachsenen Laubblätter, verbleiben und verrichten ihre Arbeit mehrere Monate und sogar Jahre, bis sie abgeworfen werden. Vielfach wechselt in verschiedenen Entwickelungsstufen Form und Funktion der Organe, wie z. B. die jungen Laubblätter zu Schutzblättern der Knospe werden oder die knolligen Blattbasen der schon abgeworfenen Blätter der Angiopteris evecta als vegetative Vermehrungsorgane funktionieren. Die Spindel der vertrockneten Blätter des Astragalus caucasicus dient als Tunica und Stachel zugleich. Der Griffel der Geumarten wird bei der Reife der Früchte in ein Haftorgan verwandelt. Andererseits können äußerlich ähnliche, derselben Funktion angepaßte Organe eine verschiedene Entwickelung durchgemacht haben, so z. B. sind die als Greiforgane bekannten Ranken der Vitis- und Passifloraarten entwickelungsgeschichtlich Sproßgebilde, diejenigen der Erbse oder Cobaea dagegen Blattteile. In diesen und ähnlichen Fällen haben wir es mit analogen Organen zu tun; die Entwickelungsgeschichte gibt den sichersten Aufschluß darüber.

Sogar die Individuen verschiedener Pflanzenarten sind ihrer Entstehung nach nicht immer gleich. Am häufigsten werden die multizellularen Pflanzen durch die Teilungen der Embryonalzellen gebildet, wobei alle Zellen der späteren Zellengeneration im innigen Zusammenhang verbleiben und das erwachsene Individuum einen sogenannten Zellenstaat darstellt. Bleiben dabei die einzelnen Zellen nackt, so sprechen wir von polyenergiden, nichtzellularen Organismen, z. B. Mucor oder Caulerpa; oder aber sind die einzelnen Energiden mit Zellmembran umgeben, dann sind sie miteinander während des vegetativen Lebens durch Plasmodesmen innig verbunden. Erst im Momente der Vermehrung werden einzelne Vermehrungszellen oder multizellulare Vermehrungsorgane aus dem Zellverbande des Individuums losgetrennt. Anders kommen die Kolonien zustande, wie wir solche bei mehreren niederen Pflanzengruppen, Mycetozoen, Volvocineen usw. finden. Polysphondylium violaceum, ein Mistbewohner zu der Mycetozoenfamilie Acrasiaceae gehörend, bildet aus der keimenden Spore eine Myxamöbe, die einzeln wandert, wächst und durch Teilung neue lose Myxamöben bildet. Erst nach einer gewissen Zeit treten die vorher losen Myxamöben zusammen, ein Aggregatplasmodium, also eine Kolonie bildend, welche nachträglich bei der Reife einen wirtelig verzweigten Stiel und an den Astenden die nackten Sporenmassen erzeugt.

Gewöhnlich wird ein Pflanzenindividuum aus den Zellen derselben Art gebildet, doch

Digitized by Google

gibt es auch Pflanzenindividuen, die heterogen gebaut sind. So sind die Flechtenindividuen aus chlorophylllosen Pilzen und chlorophyllhaltigen Algen zusammengesetzte Kolonien, wobei zu bemerken wäre, daß in der freien Natur die Flechtenpilze ohne symbiotisch lebende Algen nicht vorhanden sind. Sogar Zellenstaaten kann man künstlich heterogen aufbauen, wie es der Gärtner bei den sogenannten Veredelungen durch Transplantation, z. B. der Gartenrosen auf Rosa canina tut, oder noch merkwürdigere, wie man solche in den longitudinalen und periklinalen Chimären kennen gelernt hat.

Die vorliegenden Auseinandersetzungen zeigen, wie die Organographie ohne entwickelungsgeschichtliche Forschung unfruchtbar wäre. Die Entwickelungsgeschichte ist mit der Organographie unzertrennlich verknüpft. Ist die ontogenetische Entwickelungsgeschichte zum Verständnis der Gestaltungsverhältnisse der Pflanze unumgänglich, so ordnet die vergleichende Entwickelungsgeschichte der Pflanzenorgane die zahllosen Einzelheiten der speziellen Organographie ökonomisch zusammen, und hilft die verborgenen Verwandtschaften aufzudecken.

4. Morphologie, Homologieen. Ehemals — und in manchen Gebieten der Botanik, z. B. in der speziellen Systematik geschieht dies vielfach noch heute — begnügte man sich ausschließlich mit der Kenntnis der Gestalt der Pflanzen und ihrer Organe ohne Rücksicht auf ihre Funktion. Auf diese Weise ist zunächst die Terminologie entstanden. Es hat aber nie an Bestrebungen gefehlt, die Formen der Organe „im Zusammenhange zu erfassen, sie als Andeutungen des Innern aufzunehmen". Diese Worte stammen von Goethe, welcher diese Lehre Morphologie nannte. Es ist heute nicht leicht, eine scharfe Trennung der Organographie und Morphologie der Pflanze durchzuführen. Tatsächlich sind in den Lehrbüchern der Morphologie organographische Betrachtungen zu finden. Die Hauptaufgabe der früheren Morphologie lag in der Aufdeckung der Homologieen der Organe, wie in der Bestimmung der Dignität derselben.

Bei einer phanerogamen Pflanze sind Cotyledonen, Laub-, Schuppen-, Staub-, Fruchtblätter, Lang- oder Kurztriebe, verschiedene Trichome usw. als Glieder derselben zu unterscheiden. Noch vor der Entwickelung der Botanik wurden verschiedene Glieder der Pflanze als Wurzel, Sproß, Blatt, Blüte, Frucht usw. zusammengefaßt. „Die geheime Verwandtschaft der verschiedenen äußeren Pflanzenteile, als der Blätter, des Kelches, der Krone, der Staubfäden, welche sich nacheinander und gleichsam auseinander entwickeln, ist von den Forschern im allgemeinen längst erkannt, ja auch besonders bearbeitet worden, und man hat die Wirkung, wodurch ein und dasselbe Organ sich mannigfaltig verändert sehen läßt, die Metamorphose der Pflanze genannt" (Goethe, Einleitung zur Metamorphosenlehre). Die Produkte solcher Metamorphosen waren als homolog und von derselben Dignität erkannt.

In vielen Fällen ist es dank den Bemühungen von Knight, Vöchting, Goebel, Klebs und vielen anderen gelungen, nachzuweisen, daß die Metamorphose der Organe derselben Pflanze eine reelle Metamorphose ist, so z. B. kann ein grünes Internodium der Kartoffelpflanze künstlich zu einer Knolle umgebildet werden oder die Anlage eines Ahornlaubblattes zu einem Schuppenblatt sich ntwickeln. Doch auch in jenen Fällen — und zwar sind dies die meisten —, in denen es der experimentellen Morphologie noch nicht gelungen ist, aitiomorphotisch die Organe zu metamorphosieren, ist es dank der Aehnlichkeit der Entwickelung im allgemeinen vielfach leicht, die Homologien der Organe klarzustellen. Im allgemeinen nennen wir jene Organe homolog, die auf ähnliche Weise angelegt werden und deren erste Entwickelungsstadien wenigstens ähnlich verlaufen, mögen sie auch im entwickelten Zustand recht verschieden gestaltet sein und recht verschiedene Funktionen ausüben. Von homologen Organen sagen wir auch, daß sie derselben „Dignität" sind.

„Doch haben in allen durch Experiment nicht geprüften Fällen", wie treffend O. Hertwig (Handbuch der Entwickelungslehre, S. 151) gesagt hat, „alle Merkmale, durch welche wir uns bei Feststellung einer Homologie leiten lassen, etwas Flüssiges."

Der Begriff der Homologie in der Biologie ist deswegen weit entfernt von jener Schärfe, die er in der Chemie besitzt. Es werden sogar in der Botanik recht verschieden verwandte Organe als homolog genannt. Es sind einerseits die metamorphen Organe derselben Pflanze, z. B. Laubblatt und Schuppenblatt des Ahorns homolog, andererseits reden wir von der Homologie der Organe derselben Dignität verschiedener Pflanzenarten als von einer intergenetischen Homologie, wie z. B. die Laubblätter verschiedener Ahornarten.

Die Morphologie, die bei der Beschreibung der Pflanzenglieder weder ihre Funktionen noch kausale Verknüpfungen berücksichtigt, sondern lediglich dem Feststellen der Homologieen vermittels des Vergleiches gewidmet ist, wird vergleichende oder formelle Morphologie genannt. Manche Vertreter derselben, wie z. B. Velenovsky in seiner inhaltsreichen vergleichenden Morphologie, sind sogar der Ansicht, daß nicht nur die

Digitized by Google

Funktion, sondern auch „die Anatomie und die Entwickelung im jugendlichen Zustande für die morphologische Abschätzung der Organe keine Bedeutung haben". Dagegen wird vielfach bei den formellen Morphologen die sogenannte teratologische Methode gepriesen, d. h. es werden auch die monströs ausgebildeten Individuen zum Zwecke des Erkennens der Dignität vergleichshalber in den Bereich des Studiums gezogen. Nun finden sich unter den sogenannten teratologischen Fällen zwei Erscheinungsreihen bis heute manchmal zusammengeworfen: einerseits verschiedene erbliche, häufig sogar schlecht angepaßte Mutationen, andererseits aber Individuen, die infolge nicht näher kontrollierbarer ontogenetischer Störungen aitiomorphotisch monströs ausgebildet sind.

5. Kausale, experimentelle und genetische Morphologie. Im Gegensatz zu der formellen Morphologie steht die kausale, die sich des Experiments bedient. Diese läßt sich nach der Arbeitsmethode in zwei Wissenschaften spalten: experimentelle und genetische Morphologie, die beide nach den Ursachen der Gestaltungsvorgänge suchen.

Die experimentelle Morphologie, wie sie z. B. vor kurzem Goebel dargestellt hat, sucht durch die Einwirkung der Lebensbedingungen, sowie durch die Eingriffe in die Korrelationen Aitiomorphosen und reelle Metamorphosen in der ontogenetischen Entwickelung hervorzubringen.

Im letzten Dezennium haben die experimentellen Forschungen der Genetiker über die exakte Erblichkeitslehre nachgewiesen, daß ein tieferer Blick in die Ursachen der genetischen Differenzen der Pflanzengestaltung doch möglich ist. Die Spaltungsgesetze der Mischlinge haben uns eine Analyse der inneren Ursachen der spezifischen Pflanzengestaltung in den „Genen" kennen gelehrt, durch deren künstlich bei der Kreuzung und Spaltung herbeigeführte Kombinationen die Mannigfaltigkeit der erblichen Gestalt kausal erklärt wird. Doch ist eine genetische Morphologie oder Organographie erst im Werden begriffen.

Literatur. **K. Goebel**, *Organographie der Pflanzen. Jena 1898.* — **Derselbe,** *Vergleichende Entwickelungsgeschichte der Pflanzenorgane. Schencks Handbuch der Botanik III. Breslau 1884.* — **Derselbe,** *Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen. Leipzig und Berlin 1908.* — **W. Hofmeister,** *Allgemeine Morphologie der Gewächse. Leipzig 1868.* — **F. Pax,** *Allgemeine Morphologie der Pflanzen. Stuttgart 1890.* — **J. Velenovsky,** *Vergleichende Morphologie der Pflanzen. Prag 1905.* — **Warming-Johannsen,** *Lehrbuch der allgemeinen Botanik. Berlin 1907.* — **E. Strasburger, L. Jost, H. Schenck, G. Karsten,** *Lehrbuch der Botanik. Jena 1911.* — **K. Goebel,** *Pflanzenbiologische Schilderungen. Marburg 1889.*

M. Raciborski.

Orgeln, geologische Orgeln.

So nennt man zylindrische bis schwach trichterförmige, mehr oder minder regelmäßige, gewöhnlich in größerer Anzahl auf einer Spalte im Kalkstein sitzende Löcher, welche durch die auflösende Tätigkeit des in der Spalte versinkenden Wassers entstanden sind (vgl. den Artikel „Meteorwasser").

Ortstein.

Ein mit Eisenhydroxyd oder auch mit Manganerzen von oben her imprägnierter, wasserundurchlässiger Sand oder Sandstein. Entsteht analog dem Raseneisenstein unter sumpfigen Waldböden, deren Untergrund aus Sand oder Sandstein besteht, und ist dem Pflanzenwuchs sehr nachteilig (vgl. den Artikel „Mineral- und Gesteinsbildung auf wässerigem Wege").

Osmiumgruppe.

a) Osmium. b) Iridium. c) Platin.

Die Gruppe der schweren Platinmetalle umfaßt das Osmium, Iridium und Platin und unterscheidet sich von den leichteren Platinmetallen durch die erhebliche Differenz von ca. 10 Einheiten im spezifischen Gewicht und ungefähr 90 im Atomgewicht. Dem chemischen Charakter und den Valenzverhältnissen nach folgt das Osmium dem Ruthenium und dem Eisen oder noch deutlicher dem Mangan. Iridium schließt sich dem Rhodium und Kobalt an und Platin folgt mit dem Palladium dem Nickel.

a) Osmium.

Os. Atomgewicht 190,9.

1. Atomgewicht. 2. Vorkommen. 3. Geschichte. 4. Darstellung und Verwendung. 5. Formarten und physikalische Konstanten. 6. Valenz und Elektrochemie. 7. Analytische Chemie. 8. Spezielle Chemie. 9. Spektralchemie. 10. Kolloidchemie.

1. Das Atomgewicht des Osmiums wurde von der Internationalen Atomgewichtskommission 1912 zu 190,9 angenommen.

2. Vorkommen. Osmium ist ein ständiger Begleiter der Platinerze, die je nach

Digitized by Google

dem Fundorte wechselnde Mengen enthalten. Es kommt ferner als Osmiridium (Newjanskit) und Iridosmium (Syssertskit) vor. Der Hauptfundort ist der Ural, wo die Pt-Erze 0,5 bis 2,35 % Os enthalten.

3. Geschichte. Os wurde gleichzeitig mit Ir im Jahre 1804 von Smithson Tennant in den Rückständen der Platinerzaufschlüsse entdeckt und erhielt seinen Namen wegen des durchdringenden, stechenden Geruches des Osmiumtetroxyds (ὀσμή = Geruch).

4. Darstellung und Verwendung. Das Metall ist infolge der leichten Flüchtigkeit des Tetroxyds bequem rein zu erhalten. Aus den flüchtigen Destillaten, die man beim Lösen der Platinerze in Königswasser oder beim Aufschluß der Iridiumverbindung mit Kochsalz und feuchtem Chlor erhält, kann das Metall durch Quecksilber in salzsaurer Lösung oder durch warmes Schwefelammon leicht ausgefällt werden. Amalgam sowohl wie Sulfid hinterlassen beim Glühen im H_2-Strom reines Metall. Infolge seines hohen Schmelzpunktes wurde Os in der Glühlampenindustrie für die erste Metallfadenlampe verwandt, kann jedoch wegen seines seltenen Vorkommens heutzutage nicht mehr mit der Tantal- und Wolframlampe konkurrieren. In Legierung mit Pt sucht neuerdings die Industrie das Os zu verwenden, da derartige Legierungen bei größter Widerstandsfähigkeit nicht spröde sind. Schließlich findet das Osmiumtetroxyd (acidum osmicum) als mikroskopisches Reagens zur Härtung und Schwärzung von Präparaten Verwendung, da durch die reduzierenden organischen Stoffe schwarzes, fein verteiltes Metall abgeschieden wird.

5. Formarten und physikalische Konstanten. Osmium besitzt im kompakten Zustande blauweiße Farbe, ist jedoch in feinverteilter Form tiefschwarz ähnlich dem Platinmoor. Es schmilzt bei ca. 2500°.

Physikalische Konstanten: d (bei mittlerer Temperatur) 22,477; Ausdehnungskoeffizient: $679 . 10^{-8}$ bei 50°; Härte: 7,5; spezifische Wärme für das Intervall 19° bis 98°: 0,03113; elektrische Leitfähigkeit: $10{,}53 \times 10^4$ bei 20°.

6. Valenz und Elektrochemie. Aehnlich wie das Eisen, ist Osmium befähigt in den verschiedensten Oxydationsstufen vorzukommen. Es existieren die Oxyde OsO, Os_2O_3, OsO_2 resp. die Chloride $OsCl_2$, $OsCl_3$, $OsCl_4$, entsprechend zwei-, drei- und vierwertigem Metall, ferner kennt man das dem Kaliumferrat analoge Kaliumosmeat, wonach Osmium auch sechswertig auftreten kann. Besonders interessant ist das Osmiumtetroxyd, welches analog dem RuO_4 verflüchtigt werden kann. Dampfdichtebestimmungen, wie auch die kryoskopische Methode (mit $POCl_3$ als Lösungsmittel durchgeführt), führen zur monomolekularen Formel. In Anbetracht der Flüchtigkeit ist es kaum möglich, daß Sauerstoff etwa superoxydartig gebunden ist, und man muß hier also achtwertiges Metall annehmen, so daß in der 8. Gruppe des periodischen Systems die Maximalvalenz 8 ist.

In wässerigen Lösungen kommt Os entsprechend seinem metalloiden Charakter nur im Anionrest vor, z. B. als OsO_4'' und $OsCl_6''$ im Kaliumosmeat und Kaliumhexachloroosmeat. Os-Ionen kann man vielleicht, jedoch nur aus sekundärer Spaltung hervorgegangen, annehmen. Potentialmessungen existieren nicht.

7. Analytische Chemie. 7a) Qualitative Analyse. Charakteristisch für das Os ist der unangenehme stechende an Cl und J erinnernde Geruch seines Tetroxyds, welches immer entsteht, wenn man Os auf einem Pt-Blech vor dem Lötrohr erhitzt. Für die wässerige Lösung dieses Oxyds, welche man erhält, wenn man in Königswasser oder Salpetersäure gelöstes Os mit Wasserdämpfen übertreibt, gelten folgende Reaktionen:

Schwefelwasserstoff scheidet nach dem Ansäuern mit einer Mineralsäure braunes, in Schwefelammon unlösliches OsS_4 ab.

Alkalien unter Zusatz von Alkohol bewirken Rotfärbung unter Bildung von Kaliumosmeat.

Kaliumjodid wird unter J-Abscheidung zersetzt, wobei gleichzeitig grünes Osmiumjodid entsteht.

Indigolösung wird entfärbt.

Ferrosulfat fällt schwarzes OsO_2.

Schweflige Säure bewirkt Farbenumschlag über gelb, braun in ein schönes Blau. Auch Gerbsäure ändert die Farbe über rot in dunkelblau.

7b) Quantitative Analyse. Niedere Oxyde werden im allgemeinen durch Glühen im Wasserstoffstrom durch den Gewichtsverlust bestimmt, wobei man jedoch die Vorsichtsmaßregel treffen muß, hinter das Osmiumoxyd enthaltende Schiffchen noch eine reduzierte gewogene Kupferspirale zu schalten, um eventuell dort abgeschiedenes verflüchtigtes Os zu bestimmen.

Liegen Chloride oder Salze vor, z. B. Kaliumosmeat oder Hexachloroosmeat, so fällt man durch Kochen mit Alkohol und wenig überschüssigem NaOH die Hauptmenge als Dioxyd, neutralisiert genau, und erhitzt weitere 6 Stunden auf dem Wasserbad. Man filtriert durch ein Asbestrohr und trocknet im CO_2-Strom, der zuerst mit Alkoholdämpfen beladen ist. Man wägt als OsO_2.

Maßanalytisch benutzt man das Oxydationsvermögen des Osmiumtetroxyds. Man erhitzt die Os-Verbindungen mit 20 ccm 10 % H_2SO_4 und 3 g Chromsäure auf 120°. Durch den Kolben, der mit Kühler und

Digitized by Google

einer 20-prozentige Kalilauge enthaltenden Vorlage verbunden ist, wird blasenweise Sauerstoff geleitet, wobei das Osmium als OsO_4 leicht überdestilliert. Die Vorlage färbt sich tiefbraun. Hierauf wird vorsichtig unter Eiskühlung mit verdünnter H_2SO_4 neutralisiert, Jodkalium und etwas 5% H_2SO_4 zugegeben und das neben grünem Osmiumjodid entstandene Jod mit Thiosulfat titriert, wobei man die Endreaktion durch Tüpfelprobe mit Stärkelösung feststellt. Auf 1 Mol. Tetroxyd kommen 4 Aequivalente Jod.

8. Spezielle Chemie. 8a) Allgemeines Verhalten des Metalls. Die Haupteigenschaft des Osmiums ist die Begierde, sich mit Sauerstoff zu verbinden. In feiner Verteilung beginnt die Oxydation schon bei gewöhnlicher Temperatur, bei 200° wird dieselbe lebhaft, und bei 400° verbrennt es zu bei 100° siedendem Osmiumtetroxyd. In kompaktem Zustande ist Os in allen Säuren unlöslich, feinverteilt jedoch löst es sich in HNO_3 und in Königswasser unter Bildung von OsO_4. Fluor, Chlor, Schwefel und Phosphor greifen das feinverteilte Metall an, während Brom und Jod ohne Einwirkung sind. Von den zahlreichen noch unzureichend studierten Verbindungen des Os sind die folgenden von Wichtigkeit.

8b) Verbindungen des zweiwertigen Osmiums. Osmium(II)chlorid, $OsCl_2$. — Das dem Osmiumoxydul entsprechende Osmiumdichlorid entsteht, wenn man $OsCl_3$ im Vakuum auf 560 bis 600° erhitzt. Das Trichlorid zerfällt dabei in fortsublimierendes $OsCl_4$ und $OsCl_2$, welches als dunkelbraunes wasserunlösliches Pulver zurückbleibt. Es wird nur von stark oxydierenden Säuren gelöst.

8c) Verbindungen des dreiwertigen Osmiums. Osmium(III)oxyd, Os_2O_3, und Osmium(III)chlorid, $OsCl_3$. — Neben dem Os_2O_3, welches durch Erhitzen von Ammoniumosmium(III)chlorid und Soda im CO_2-Strom als schwarzes, in Säuren unlösliches Pulver erhalten wird, existiert das entsprechende Trichlorid. Dasselbe bildet sich aus Os im Chlorstrom bei Temperaturen von 1050°, wenn man die Chloriddämpfe im Pt-Kühler rasch abkühlt. Es bildet ein braunschwarzes, hygroskopisches Produkt.

8d) Verbindungen des vierwertigen Osmiums. Osmium(IV)oxyd, OsO_2. — Die Darstellung wurde schon bei der quantitativen Analyse, wo es eine Rolle spielt, beschrieben. Am bequemsten erhält man es aus $(NH_4)_2Os_2Cl_6$, Ammoniumhexachloroosmeat mittels Alkali und Alkohol. Nach dem Trocknen über H_2SO_4 besitzt es die Zusammensetzung $OsO_2.2H_2O$ und löst sich in konzentrierter HCl und H_2SO_4 gelbbraun auf. Vollkommen wasserfrei erscheint es blauschwarz. Das Trocknen muß vorsichtig geschehen, da es sich explosionsartig zersetzen kann.

Osmium(IV)chlorid, $OsCl_4$. — Es bildet sich wie $OsCl_3$, nur müssen die gebildeten Chlorierungsprodukte allmählich abgekühlt werden. Es stellt sodann eine schwarze, metallglänzende, hygroskopische Kruste vor. Die sich vom $OsCl_4$ ableitenden, den Hexachloroplatinaten entsprechenden, Hexachloroosmeate entstehen bequem aus Metall und Kochsalz durch Erhitzen im Chlorstrom und nachfolgender Extraktion mit Wasser. Durch KCl usw. erhält man die übrigen Chloroosmeate als prachtvoll rot gefärbte Pulver.

8e) Verbindungen des sechswertigen Osmiums. Kaliumosmeat, $K_2OsO_4 + 2H_2O$. — Es bildet sich durch Schmelzen von Osmium mit KOH und KNO_3 und kann durch nachfolgende Extraktion mit Wasser nach dem Eindampfen in violetten Oktaedern erhalten werden. Auch aus Osmiumtetroxyd und Kalilauge (Fällen mit Alkohol) kann das Salz erhalten werden. Die freie Säure oder ihr Anhydrid existieren nicht.

8f) Verbindungen des achtwertigen Osmiums. Osmium(VIII)oxyd, OsO_4. — Die Darstellung wurde schon erwähnt (s. quantitative Analyse). Es löst sich in Wasser mit neutraler Reaktion und wird daher mit Unrecht Ueberosmiumsäure genannt. Es bildet farblose, monokline Kristalle, die bei 40° schmelzen und bei 100° sieden.

9. Spektralchemie. Ueber das Spektrum des Osmiums siehe J. M. Eder und E. Valenta, Atlas typischer Spektren, 2 Teile, herausgegeben von der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien 1911, und in der Neuauflage der Wellenlängentabellen von Exner und Haschek, Leipzig und Wien 1911. F. Deuticke.

10. Kolloidchemie. Zur Darstellung einer kolloidalen Osmiumlösung versetzt man protalbinsaures oder lysalbinsaures Natrium in wässeriger Lösung mit Alkaliosmeat und reduziert, am besten mit Hydrazinhydrat, in neutraler oder schwach alkalischer Lösung. Nach der Dialyse und vorsichtigem Eindampfen zur Trockne, erwärmt man noch einige Zeit auf 30° bis 40° im H_2-Strome, um die kolloidalen Osmiumoxydhydrate zu Metall zu reduzieren. Das so erhaltene Os-Gel ist wasserlöslich. Auch durch mit Acetylen gesättigte Acetonlösung kann man aus Alkaliosmeatlösungen tiefdunkel gefärbte Sole erhalten.

Literatur: *siehe bei Platin.*

F. Sommer.

b) Iridium.

Ir. Atomgewicht 193,1.

1. Atomgewicht. 2. Vorkommen. 3. Geschichte. 4. Darstellung und Verwendung. 5. Formarten, deren Eigenschaften und physikalische Konstanten. 6. Valenz und Elektro-

chemie. 7. Analytische Chemie. 8. Spezielle Chemie. 9. Spektralchemie. 10. Kolloidchemie.

1. Atomgewicht. Das Atomgewicht des Ir wurde von der Internationalen Atomgewichtskommission 1912 zu 193,1 festgesetzt.

2. Vorkommen. In kleinen Mengen in den Platinerzen, ferner als Platiniridium und in Verbindung mit Osmium (siehe „Osmium").

3. Geschichte. Iridium wurde gleichzeitig mit dem Osmium von Smithson Tennant (1804) entdeckt und erhielt seinen Namen wegen der Mannigfaltigkeit der Färbungen seiner Salzlösungen (Iris = Regenbogen).

4. Darstellung und Verwendung. Aus den Platiniridiumlösungen (siehe unter c „Platin") kann es nach der Abscheidung des Pt, welches zuerst mit Chlorammonium fällt, durch weiteres Eindampfen der Lauge als $(NH_4)_2IrCl_6$ (Iridiumsalmiak) abgeschieden werden. Ferner wird es vor allem aus den Rückständen beim Aufschluß des Osmiridiums, nach der Verflüchtigung des Osmiumtetroxyds, gewonnen. Als Platinlegierung wegen seiner großen Widerstandsfähigkeit für Eichmaße, chirurgische Instrumente, Schreibfedern, als Anodenmaterial bei der Elektrolyse von Chloridlösungen usw. angewandt. Iridium(III)oxyd, Ir_2O_3, wird in der Porzellanmalerei zur Erzeugung glühbeständiger schwarzer Farben benutzt.

5. Formarten, deren Eigenschaften und physikalische Konstanten. Das Iridium bildet in kompaktem Zustande ein rein weißes, in Oktaedern kristallisierendes Metall, welches härter als Pt ist und bei ca. 2220° schmilzt. In Form von Moor kann es aus Lösungen durch Reduktion mittels Zn oder Fe abgeschieden werden und besitzt in diesem Zustande enorm katalytische sauerstoffübertragende Wirkung. Während kompaktes Metall gegen Sauerstoff sehr beständig ist, oxydiert sich Ir-Moor leichter an der Luft. Die geeignetste Temperatur, um Ir-Moor in einem Sauerstoffstrom von Atmosphärendruck in Dioxyd zu verwandeln, liegt bei 1080°. Die zwischen 750 bis 1000° beobachtete Flüchtigkeit des Ir im Sauerstoffstrom kann wahrscheinlich auf Bildung eines endothermen Oxydes zurückgeführt werden, als welches vielleicht das dem OsO_4 und RuO_4 entsprechende, bisher noch unbekannte IrO_4 in Betracht kommt. Kompaktes Ir ist in allen Säuren, selbst in Königswasser, fast unlöslich, nur als Moor führt letzteres es in Wasserstoffiridium(IV)-chlorid über.

Physikalische Konstanten: d (gegossen und gehämmert) 22,4 bei mittlerer Temperatur; Ausdehnungskoeffizient $708 . 10^{-8}$ bei 50°; Härte nach Auerbachs Skala: 6; spezifische Wärme für das Intervall 18° bis 100°: 0,0323, für 0° bis 1400°: 0,0401.

6. Valenz und Elektrochemie. Ir tritt zwei-, drei- und vierwertig auf. $IrCl_2$, $IrCl_3$ und Ir_2O_3, $IrCl_4$ und IrO_2 sind die dafür charakteristischen Typen. Außerdem hat man es in dem Iridiumtrioxyd (IrO_3) vielleicht mit sechswertigem Metall zu tun. In wässerigen Lösungen von Iridiumverbindungen liegen ähnliche Verhältnisse wie beim Pt vor (s. unter c „Platin"). Auch das Ir kommt in seinen einfachen Verbindungen vornehmlich im Anionrest vor, z. B. als $IrCl_6''$ oder $IrCl_6'''$, wahrscheinlich sind auch Hydratationsvorgänge, wie sie beim Pt nachgewiesen sind, anzunehmen. Elektromotorische Messungen, die Bedeutung besitzen, fehlen auch hier. Ueber weitere komplexe Ionbildung siehe bei den Ammoniak- und Nitritverbindungen.

7. Analytische Chemie. 7a) Qualitative Analyse. Das durch Glühen mit Soda auf Kohle erhaltene Metall, welches mit Natriumchlorid im Chlorstrom erhitzt, leicht in Natriumhexachloroirideat übergeführt werden kann, zeigt folgende Reaktionen:

Schwefelwasserstoff fällt unter Schwefelabscheidung braunes in Schwefelammon lösliches Ir_2S_3.

Alkali, im Ueberschuß zugesetzt, reduziert bei längerem Erhitzen zunächst das Hexachloroirideat zu grünem Hexachloroiridit, welches weiter unter vorübergehender Bildung von Iridium(III)oxyd (Ir_2O_3) durch den Sauerstoff der Luft zu Iridium(IV)-oxyd oxydiert wird (vgl. Verbindungen des vierwertigen Ir). Die dabei auftretenden violetten und blauen Färbungen sind als kolloidale Lösungen von IrO_2 erkannt worden. Kalium- und Ammoniumchlorid fällen schwarzrotes Kalium- oder Ammoniumhexachloroirideat.

Reduktionsmittel wie Oxalsäure, Zinnchlorür, Ferrosulfat usw. reduzieren zu grünem Iridit. Zink, Eisen, sowie Ameisensäure, bei Gegenwart von Ammoniumacetat, liefern besonders in der Hitze Metall (Iridiummoor). Ueberschüssiges Kaliumnitrit gibt unter Reduktion zu dreiwertigem Ir beim Kochen einen in heißem Wasser und kalter Salzsäure schwerlöslichen Niederschlag von $3K_3[Ir(NO_2)_6] . K_3[IrCl_6]$.

Fügt man Schwefelsäure in geringem Ueberschuß zur Lösung eines Iridiumsalzes, erhitzt bis zum Verdampfen der Schwefelsäure und trägt dann vorsichtig unter schwachem Erwärmen Ammoniumnitrat ein, so entsteht eine Blaufärbung, die noch $^1/_{1000}$ mg Ir nachzuweisen vermag.

7b) Quantitative Analyse. Die Bestimmung des Ir kann bequem nach Abscheidung und Ueberführung in gereinigtes Oxyd durch Reduktion im Wasserstoffstrom als Metall erfolgen. Es genügt meistens 15 bis 20 Minuten andauerndes Erhitzen im Wasserstoffstrom, in dem man 5 bis 10 Minuten erkalten läßt; schließlich trocknet

Digitized by Google

man $^1/_4$ Stunde über Phosphorpentoxyd. Eventuell muß vorher die vorliegende Verbindung durch Abrauchen mit Salz- oder Schwefelsäure zerstört werden.

8. Spezielle Chemie. 8a) Verbindungen des zweiwertigen Iridiums. Iridium(II)-oxyd, IrO, existiert nicht, dagegen ist das entsprechende Iridium(II)chlorid, $IrCl_2$, darstellbar. Es entsteht neben Iridium(III)-chlorid durch Zerfall des Iridium(IV)chlorid beim Erhitzen als olivengrüne Masse: $2IrCl_4 = IrCl_3 + IrCl_2 + 3Cl$.

8b) Verbindungen des dreiwertigen Iridiums. Iridium(III)oxyd, Ir_2O_3, erhält man durch Einwirkung von Alkali auf eine Lösung von Natriumchloroiridit bei Sauerstoffabschluß. Es ist immer wasserhaltig, da die zum Entwässern notwendige Temperatur Umlagerung im Sinne der Gleichung $2Ir_2O_3 = Ir + 3IrO_2$ herbeiführt. Bei 400° setzt diese Reaktion schon mit erheblicher Geschwindigkeit ein. Das ausgefallene Oxyd ist grünweiß bis dunkelgrün und in Kalilauge so gut wie unlöslich. Verdünnte H_2SO_4 löst es mit olivgrüner Farbe kolloidal auf, Salzsäure gibt zunächst dieselbe Lösung, die Farbe schlägt jedoch beim Erhitzen und Konzentrieren in rotgelb, die Färbung von $IrCl_6'''$, um. Salpetersäure gibt eine kolloidale Lösung von Iridium(IV)oxyd.

Iridium(III)chlorid, $IrCl_3$, entsteht am einfachsten durch Zersetzung von Ammoniumchloroiridat im Chlorstrom bei 440°. Das zunächst gebildete Tetrachlorid zersetzt sich hierbei und beim Erkalten in einem Kohlensäurestrom erhält man das Trichlorid als grünschwarzes, in Wasser, Alkohol und Säuren unlösliches Produkt. Derivate des Ir(III)chlorids sind die Chloriridite vom Typus $Me_3IrCl_6 + xH_2O$. Man erhält dieselben leicht durch Reduktion der entsprechenden Chloriridate mittels neutraler Oxalatlösung nach der Gleichung: $2IrCl_6Me_2 + C_2O_4Me_2 = 2IrCl_6Me_3 + 2CO_2$. Das Na-Salz kristallisiert mit $12H_2O$ und ist sehr beständig, während beim K- und NH_4-Salz leicht partielle Hydrolyse eintritt im Sinne: $K_3IrCl_6 + H_2O \rightleftarrows K_2IrCl_5(H_2O) + KCl$, wobei das Wasser konstitutionell gebunden ist. Je nach der Größe der Kristalle schwankt bei den normalen Salzen die Farbe zwischen schwarz, braun, grünlichrot, olivengrün und grünlichgelb. Schwefelwasserstoff fällt aus den Salzlösungen schwarzbraunes, in Alkalisulfiden lösliches Iridium(III)sulfid, Ir_2S_3.

8c) Verbindungen des vierwertigen Iridiums. Iridium(IV)oxyd, IrO_2, erhält man durch längeres Erhitzen einer Lösung von Natriumchloroiridat mit Alkali, zum Schluß unter Einleiten von Sauerstoff. Dabei entsteht zunächst unter Reduktion das entsprechende Iridit, welches durch Alkali und Sauerstoff weiter zu IrO_2 oxydiert wird: $2Na_3IrCl_6 + 6KOH = Ir_2O_3 + 3H_2O + 6KCl + 6NaCl$; $Ir_2O_3 + O = 2IrO_2$. Die bei der Fällung eintretende violette Färbung stellt eine sehr haltbare, beim Erhitzen blau werdende, kolloidale Lösung von IrO_2 vor, die schließlich letzteres in einer violetten Modifikation abscheidet. Die blauen und grünen Lösungen des frischgefällten IrO_2 in Salzsäure sind ebenfalls kolloidaler Natur. Die Farbe des Dioxyds wird mit abnehmendem Wassergehalt schwarz. Eine Löslichkeit in Alkali ist nicht vorhanden, frisch gefällt löst es sich in gewöhnlichen Säuren, getrocknet nur in konzentriertester Salzsäure und in Königswasser. Iridium(IV)chlorid, $IrCl_4$, gewinnt man am bequemsten durch Zersetzung einer Iridiumsalmiaklösung mit Chlor bei +4°. Nach erfolgtem Einengen im Vakuum bei 35 bis 40° erhält man das Chlorid als glänzende, tiefbraun gefärbte, kristallinische, sehr hygroskopische Masse. Durch Umsatz des Chlorides mit konzentrierter Alkalibromidlösung bei Wasserbadtemperatur erhält man das blau gefärbte kristallinische Iridium(IV)bromid, und analog mit Kaliumjodid das entsprechende schwarze Jodid, IrJ_4. Durch Anlagerung von Alkalihalogeniden erhält man die entsprechenden Alkalihexahalogenoirideate vom Typus Me_2IrCl_6. Sie können auch direkt einfach dargestellt werden, wenn man Ir, Alkalichlorid oder Bromid in Halogendampf schwach glüht, die Masse mit Wasser auslaugt und zum Kristallisieren bringt. Man kann auf diese Weise z. B. leicht das Na-Salz gewinnen, und durch konzentrierte Lösungen von NH_4Cl, KCl, RbCl die entsprechenden in kaltem Wasser schwer löslichen Alkalisalze ausscheiden. Sie alle bilden rotschwarze Oktaeder. Die entsprechenden Hexabromoirideate stellen tiefblauschwarz gefärbte glänzende Kristalle vor. Schwefelwasserstoff fällt hier unter Schwefelabscheidung braunschwarzes, in Schwefelalkalien lösliches Iridium(IV)sulfid, IrS_2.

8d) Verbindungen des sechswertigen Iridiums. Iridium(VI)oxyd, IrO_3. Für die Darstellung kommen folgende Methoden in Betracht. Glühen von Ir mit Salpeter und Kali, Schmelzen des Ir mit Natriumsuperoxyd, Glühen von alkalihaltigem Iridium(IV)oxyd im Sauerstoffstrom und die anodische Oxydation einer stark alkalischen IrO_2-Lösung bei 20°. Dabei hat sich gezeigt, daß alkalifreies IrO_3 nicht beständig ist, so daß der wechselnde Gehalt an Alkali vielleicht eine Kolloidverbindung vorstellt, wenn man nicht chemisch gebundenes Alkali annehmen muß. IrO_3 wirkt stark oxydierend auf organische Substanzen.

8e) Komplexe Ammoniak- und Nitritverbindungen. Da Ir und Co homologe Elemente sind, so zeigt sich auch eine

Digitized by Google

weitgehende Analogie mit den komplexen Kobaltverbindungen. Wie man Hexamminkobaltisalze kennt, so existieren auch Hexamminiridisalze. Ausgehend vom Natriumhexachloroirideat kann man ferner durch Einwirkung von Natriumnitrit zum Natriumtetranitrodichloroirideat gelangen:

$$\left[Ir \begin{matrix}(NO_2)_4 \\ Cl_2\end{matrix}\right] Na_3,$$

welches durch Einwirkung von Ammoniak Iridiumammoniake vom Typus:

$$\left[Ir \begin{matrix}NO_2 \\ (NH_3)_5\end{matrix}\right] x_2; \quad \left[Ir \begin{matrix}(NO_2)_2 \\ (NH_3)_4\end{matrix}\right] x; \quad \left[Ir \begin{matrix}(NO_2)_3 \\ (NH_3)_3\end{matrix}\right]$$

liefert.

Hier wird in den ersten beiden Verbindungen der in eckiger Klammer stehende Ir-Komplex als positives Ion abgespalten. Diese Ammoniake sind viel beständiger als die entsprechenden Kobaltverbindungen, man kann sie überhaupt als die beständigsten Metallammoniake bezeichnen. Ein wesentlicher Unterschied in den komplexen Ir- und Co-Verbindungen besteht in der Farbe. Während alle Nitrokobaltiake intensiv gelbbraun sind, sind die entsprechenden Ir-Verbindungen farblos, ein Unterschied, der ja auch zwischen den Hexamminkobalti- und Hexamminiridiverbindungen besteht. Die Zahl der bekannten komplexen Iridiumverbindungen ist eine sehr große.

9. Spektralchemie. Ueber das Spektrum des Iridiums siehe die beim Osmium angeführte Literatur, die Werke von J. M. Eder und E. Valenta, und die Tabellen von Exner und Haschek.

10. Kolloidchemie. Ueber die Neigung der Iridiumoxyde, kolloidale Lösungen zu geben, siehe die spezielle Chemie. Kolloidales Metall kann durch kathodische Zerstäubung von 1 mm starken Ir-Drähten unter mit Spuren Alkali versetztem Wasser gewonnen werden. Man erhält rehbraune, instabile Sole, die ca. 7 mg Ir in 100 ccm Wasser enthalten. Festes Kolloid erhält man am besten aus Natriumhexachloroirideat in Lösung von lysalbinsaurem Natrium durch Reduktion mit Natriumamalgam oder einfach durch Einleiten von Wasserstoff. Durch Dialyse und nachfolgendes vorsichtiges Eindampfen erhält man ein wasserlösliches Gel von ziemlicher Beständigkeit.

Literatur: *siehe bei Platin.*

F. Sommer.

c) Platin.

Pt. Atomgewicht 195,2.

1. Atomgewicht. 2. Vorkommen. 3. Geschichte. 4. Darstellung und Verwendung. 5. Formarten. 6. Valenz und Elektrochemie. 7. Analytische Chemie. 8. Spezielle Chemie. 9. Spektralchemie. 10. Kolloidchemie.

1. Atomgewicht. Das Atomgewicht ist aus der Analyse der Chlor- und Bromplatinate des Kaliums und Ammoniums zu 195,2 bestimmt worden.

2. Vorkommen. Platin findet sich in der Natur an sekundären Lagerstätten stets gediegen, wenn auch nicht rein, sondern im Verein mit den übrigen Platinmetallen. Auch Au, Ag, Fe, Cu und Pb sind stetige Begleiter. Fast alles Pt stammt heutzutage aus dem Ural, daneben sind weniger bedeutende Fundorte Columbien, Brasilien, Californien, Borneo und Neu-Südwales.

3. Geschichte. Platin — wegen seines silberähnlichen Aussehens mit platina, Diminutiv des spanischen plata = Silber, bezeichnet — wurde zuerst im Distrikt Choco (Columbien) beobachtet und 1735 von Ulloa nach Europa gebracht. Von Watson (1750) wurde es erstmalig als eigentümliches Metall erkannt. 1828 beschrieb Wollaston ein Verfahren, um schmiedbares Pt aus Pt-Schwamm herzustellen. In die chemische Industrie wurde es eingeführt hauptsächlich durch die Verdienste von St. Claire-Deville und Debray (1857), welche mittels des Knallgasgebläses das Schmelzverfahren im Großen anwendbar machten.

4. Darstellung und Verwendung. Die Darstellung geschieht stets auf nassem Wege. Pt-Erz, 70 bis 85% Pt enthaltend, das durch Zinkschmelze und Lösen des Zn als Pulver erhalten wird, wird kalt mit verdünntem Königswasser behandelt, wodurch Au, Cu, Fe usw. in Lösung gehen. Sodann wird mit konzentriertem Königswasser, zweckmäßig unter Druck, erwärmt, wodurch Pt sowie kleine Mengen von Ir, Pd, Rh und Ru in Chloride verwandelt werden. Im Rückstand verbleibt hauptsächlich Osmiridium. Die gelösten Platinchloride werden zur Trockne gedampft und auf 125° erhitzt, wodurch Pd- und Ir-Chlorid, im Gegensatz zum Platinchlorid, zu Chlorür reduziert werden. Löst man jetzt in salzsäurehaltigem Wasser, so wird mit NH_4Cl nur rein gelbes Ammoniumplatin(IV)chlorid niedergeschlagen, das leicht durch Glühen in Platinschwamm übergeführt wird. Durch Wiederholung dieser Operation kann das Pt noch eingehender gereinigt werden.

Wegen seiner Schwerschmelzbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Sauerstoff ist das Platin für die analytische Chemie unentbehrlich. In der Technik dient das Pt zur Konzentration der H_2SO_4, zur Darstellung von Fluor und Fluor-Verbindungen, zu den mannigfachsten elektrotechnischen Prozessen (chlorfestes Anodenmaterial, besonders in Verbindung mit Ir), ferner zu Widerstandsöfen und als Kontaktsubstanz beim Schwefelsäureprozeß. Von den Salzen findet das Kaliumplatin(II)chlorid in der Photographie zur Platinotypie, das Barymplatin(II)cyanid für die Radioskopie Ver-

Digitized by Google

wendung. Da Pt den gleichen Ausdehnungskoeffizienten wie Glas besitzt, dient es als Stromzuführung für die Kohlefadenlampen.

5. Formarten. a) Kompaktes Platin besitzt eine weiße, ins bläuliche gehende Farbe, Metallglanz, große Geschmeidigkeit und im geschweißten Zustand beträchtliche Härte. Man kann es zu sehr feinem Draht ausziehen und zu dünnem Blech walzen. Nach Gold und Silber ist es das dehnbarste Metall. Kleine Beimengungen fremder Stoffe verringern die Geschmeidigkeit; schon kleine Verunreinigungen von Ir machen das Pt spröder. Bei Rotglut wird es weich und ist daher schmiedbar. Es schmilzt bei ca. 1770°.

b) Platinschwamm ist eine graue, schwammartige Masse, welche man beim Glühen von Pt-Salmiak (Ammoniumplatin(IV)-chlorid) erhält. Beim Erhitzen wird Pt-Schwamm dichter und kann in der Glühhitze durch Hämmern in kompaktes Pt verwandelt werden.

c) Platinmoor oder Platinschwarz stellt Pt in noch feinerer Verteilung dar. Man erhält es aus Pt-Chlorid durch Reduktion mittels metallischen Zinks oder durch alkalische Traubenzucker- oder Formaldehydlösung als äußerst feines, samtartiges, schwarzes, stark abfärbendes Pulver. Pt-Moor und Schwamm besitzen stark katalytische Eigenschaften, indem sie den auf ihrer Oberfläche verdichteten Sauerstoff an andere Stoffe abzugeben vermögen. Die bekanntesten Kontaktwirkungen sind die Oxydation von SO_2 zu SO_3, die Entzündung von H_2 im Döbereinerschen Feuerzeug, die Oxydation von Alkohol zu Essigsäure und diejenige des Ammoniaks zu Salpetersäure.

Die beim Auflösen von Pt-Zn-Legierungen hinterbleibenden häufig explodierenden feinpulverigen Pt-Metalle wurden früher für allotrope Modifikationen gehalten, neuere Untersuchungen haben ergeben, daß es sich um okkludierten Wasserstoff und Sauerstoff handelt, die sich beim Erwärmen explosionsartig zu Wasser verbinden.

Physikalische Konstanten: d (bei mittlerer Temperatur) 21,2 bis 21,7 (Blech und Draht); 21,4 (gegossen und gehämmert); 16,32 bis 21,24 (Platinschwamm); 17,77 bis 22,89 (Platinschwarz). Ausdehnungskoeffizient: $907 . 10^{-8}$ bei 50°, $1130 . 10^{-8}$ bei 1000°.

Härte nach Auerbachs Skala: 4,3; spezifische Wärme: 0,0377 für das Intervall 0 bis 1000°; 0,0324 für 18 bis 100°.

Elektrische Leitfähigkeit: $9{,}12 \times 10^4$ bei 0°, $6{,}73 \times 10^4$ bei 100°.

6. Valenz und Elektrochemie. Pt tritt als Oxydul (PtO) und als Platin(II)chlorid zweiwertig auf, dreiwertig ist es im Platinsesquioxyd und Chlorid (Pt_2O_3 und $PtCl_3$). Im PtO_2, ferner im $PtCl_4$, findet es sich vierwertig vor, was auch die Isomorphie mit verschiedenen komplexen Halogenderivaten des Zinns und des Siliciums bestätigt. Sechswertiges Pt ist wahrscheinlich im PtO_3, dem Platintrioxyd, vorhanden. Was den Lösungszustand seiner Verbindungen in Wasser betrifft, so zeigt sich auch hierin die geringe Elektroaffinität, die sich in Komplexbildung mit den meisten Anionen und in dem hydrolytischen Zerfall äußert. Das Pt ist fast ausschließlich im Anionkomplex enthalten und wandert infolgedessen bei der Elektrolyse zur Anode, z. B. im $H_2[PtCl_6]$. Versetzt man eine solche Lösung mit Silbernitrat, so fällt nicht AgCl, sondern komplexes gelbes $Ag_2[PtCl_6]$, das beim Kochen in sich abscheidendes Silberchlorid und gelöstes Platinchlorid zerfällt. In der wässerigen Lösung des letzteren hat man es nun wieder, wie Ueberführungsversuche bewiesen haben, mit der sauren Charakter tragenden Verbindung $H_2[PtCl_4O]$ zu tun; beim Fällen mit Silbernitrat wird gelbes $Ag_2[PtCl_4O]$ erhalten. Kompliziert werden die Verhältnisse noch dadurch, daß innerhalb des Moleküls $H_2[PtCl_4O]$ weitere Hydratationsvorgänge vor sich gehen, indem nach der Gleichung: $2H_2[PtCl_4O] \rightleftarrows H_2[PtCl_6] + PtCl_2O + H_2O$ sich neue Gleichgewichtszustände herausbilden. Infolgedessen nimmt mit der Zeit die Leitfähigkeit einer $PtCl_4$-Lösung in Wasser durch Bildung des stärker ionisierten $H_2[PtCl_6]$ zu, besonders schnell, wenn die Lösung mit Licht, das reich an brechbareren Strahlen ist, in Berührung kommt, da die Hydrolyse unter diesen Bedingungen katalytisch beschleunigt wird. Auch die Chloride $PtCl_2$ und $PtCl_3$ bilden in wässeriger Lösung analoge komplexe Ionen wie $[PtCl_4]^{\cdot\cdot}$ und $[PtCl_2O]^{\cdot\cdot}$ resp. $[PtCl_5]^{\cdot\cdot}$ und $[PtCl_3O]^{\cdot\cdot}$. Infolge dieser Komplikationen und der daraus folgenden Unsicherheit über die Konzentration der Pt-Ionen, die immer erst sekundär abgespalten werden, sind auch die Potentiale für Kationenbildung und Ionenumladung nicht genau zu bestimmen. Gemessen wurde die Kette Pt $PtCl_6H_2$ indifferenter Elektrolyt KCl $HgCl_2$ Hg, woraus sich für platiniertes Pt in einer Lösung von H_2PtCl_6 eine E.M.K. von + 1,114 Volt ergibt. Jedenfalls ist der Wert mit den Potentialen anderer Salze mit bekannter Ionenkonzentration nicht vergleichbar und daher fehlt in der Skala für das elektrolytische Potential (Spannungsreihe) der exakte Wert für Pt, Os und Ir (siehe auch den Artikel „Potential, elektrolytisches Potential“). Man kann nach den vorliegenden Messungen nur sagen, daß allgemein bei ein und derselben Oxydationsstufe des Pt die E.M.K., gemessen gegen die H_2-Elektrode, von dem Hydratationsgrade abhängt, daß ferner der höhere

Digitized by Google

Gehalt an Sauerstoff und Wasser in der Platinverbindung ebenfalls die E.M.K. ändert, und zwar vergrößert. Ueber weitere komplexe Ionen siehe auch bei den Metallammoniakverbindungen.

7. Analytische Chemie. 7a) Qualitative Analyse. Erhitzt man allgemein Platinverbindungen mit Soda auf Kohle, so erhält man graues, schwammiges, unschmelzbares Metall, das durch Reiben im Achatmörser Metallglanz annimmt. Durch Lösen in Königswasser, Eindampfen und Aufnehmen mit Wasser, erhält man stets gelborange Lösungen von H_2PtCl_6, Wasserstoffplatin(IV)chlorid, für welche folgende Reaktionen charakteristisch sind:

Schwefelwasserstoff fällt heiß schnell dunkelbraunes PtS_2. Dasselbe ist löslich in Königswasser, unlöslich in Mineralsäuren. In Alkalipolysulfiden löst es sich unter Bildung von Sulfosalz, welches mit Säuren versetzt wieder PtS_2 zurückliefert.

Alkalihydroxyd, Ammoniak, ferner deren Carbonate und Chloride, geben die Alkali- resp. Ammoniumsalze der Platinchlorwasserstoffsäure, von denen das K- und NH_4-Salz schwer löslich sind.

$$H_2[PtCl_6]+2KCl=K_2[PtCl_6]+2HCl.$$

Analog bildet sich das Ammonsalz. Beide Salze bilden gelbe kristallinische Fällungen, die unter dem Mikroskop reguläre Oktaederform besitzen. 100 Teile Wasser lösen bei 20° 1,12 Teile $K_2[PtCl_6]$ und 0,67 Teile $(NH_4)_2[PtCl_6]$. In 75%igem Alkohol sind beide Salze unlöslich (quantitative Bestimmung des K und NH_4). Das Na_2PtCl_6, das in prismatischen Nadeln kristallisiert, geht unter diesen Bedingungen in Lösung.

Alkalijodide reduzieren zu Wasserstoffplatin(II)chlorid unter Jodabscheidung.

Oxalsäure reduziert Pt im Gegensatz zu Goldlösung nicht.

In neutraler Lösung bewirken Ameisensäure, wie auch Ferrosalze, nach längerem Kochen Reduktion.

In alkalischer Lösung wird durch Traubenzucker, Formaldehyd, Glyzerin metallisches Pt niedergeschlagen.

Zink scheidet ebenfalls Pt ab.

Zinnchlorür gibt eine Rotfärbung, die durch Bildung von kolloidem Pt hervorgerufen wird.

7b) Quantitative Analyse. α) Bestimmung durch Fällung als Ammoniumplatinchlorid. Das in Wasserstoffplatin(IV)chlorid übergeführte Platin wird mit Ammoniak neutralisiert, mit Ammoniumchlorid versetzt und die Lösung nahezu bis zur Trockne verdampft. Hierauf nimmt man den Rückstand mit ca. 90%igem Alkohol auf, filtriert, wäscht mit 80%igem Alkohol aus und bringt den Niederschlag in einen Rosetiegel. Bei bedecktem Tiegel wird das Filter vorsichtig verascht, hierauf bis zum Verschwinden der Salzsäuredämpfe im Wasserstoffstrom erhitzt und schließlich bei Luftzutritt bis zur Konstanz geglüht.

β) Abscheidung durch Reduktion als metallisches Pt. Durch Eindampfen entfernt man möglichst die überschüssige Säure, neutralisiert mit Ammoniak und gibt Ameisensäure nebst einer kleinen Menge Ammonacetat hinzu. Nach Verdünnen auf 250 ccm erwärmt man zunächst vorsichtig auf dem Wasserbad und kocht, wenn die Hauptreaktion (CO_2-Entwickelung) vorüber ist, am Rückflußkühler, bis die Lösung entfärbt ist. Das Pt wird filtriert, zunächst mit verdünnter HCl, dann mit destilliertem Wasser gewaschen und im Porzellantiegel nach dem Glühen als Pt gewogen.

γ) Elektroanalyse. Man richtet die Konzentration des H_2PtCl_6 derart ein, daß auf 150 ccm Flüssigkeit 0,1 bis 0,2 g Metall kommen, setzt ferner 2 Vol.-% verdünnter H_2SO_4 hinzu, erhitzt auf 60 bis 65° und elektrolysiert mit einer Stromdichte ND_{100} =0,01 bis 0,05 Amp. und einer Spannung von 1,2 bis 1,7 Volt. Zur Abscheidung benutzt man eine innen am besten versilberte oder verkupferte Platinschale, aus der durch heiße Salpetersäure das abgeschiedene Pt leicht wieder entfernt werden kann. Das Pt setzt sich nach dieser Methode absolut iridiumfrei als glänzendes, helles Metall ab. Man kann natürlich auf diese Weise auch indirekt K und NH_4 bestimmen.

8. Spezielle Chemie. 8a) Allgemeines Verhalten des Metalls. Das Platin ist in seinem chemischen Verhalten wie das Os und Ir durch äußerst geringe Elektroaffinität charakterisiert und trägt daher alle Kennzeichen eines Edelmetalls. Es vermag keinen positiven Ionen die Ladung zu entziehen, indem z. B. der Gleichgewichtszustand $Pt+4H^{\cdot}=Pt^{\cdot\cdot\cdot\cdot}+2H_2$ schon bei der geringsten $Pt^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$-Konzentration erreicht ist. Demgemäß löst es sich nicht in Salzsäure, Flußsäure, Salpetersäure und Schwefelsäure. Von Königswasser wird es leicht gelöst, auch stickoxydhaltige Schwefelsäure greift Pt an, in der Lösung befindet sich wahrscheinlich Platoschwefelsäure. Mit Silber legiertes Pt löst sich in Salpetersäure, umgekehrt ist 20% Ir enthaltendes Pt in Königswasser fast unlöslich. Die Hydroxyde und Sulfhydrate starker Basen greifen Pt in geschmolzenem Zustande heftig an, ebenso PbO, Ag_2O, Bi_2O_3 usw.; auch Alkalicyanide, salpetersaure, chromsaure, selensaure Salze, sowie Superoxyde wirken auf das Metall ein. Metallschmelzen, sowie Kohle und Silicium verbinden sich ebenfalls leicht und nehmen dem Pt seine große Widerstandsfähigkeit. Auf diese Punkte ist beim Arbeiten mit Platingeräten stets Rücksicht zu nehmen.

Ein eigentümliches Verhalten zeigt Pt

Digitized by Google

dem Wasserstoff gegenüber. Während bei gewöhnlicher Temperatur keine meßbaren Mengen des Gases absorbiert werden, wächst die Löslichkeit bei steigender Temperatur wahrscheinlich bis zum Fp. Man hat es dabei im Falle des kompakten Pt jedenfalls mit einem echten Lösungsvorgang zu tun, wobei die bei konstanter Temperatur und wechselndem Druck absorbierten Mengen der Quadratwurzel aus dem Wasserstoffdruck proportional sind. In Zusammenhang damit steht die Eigenschaft des Pt, bei Glühhitze Wasserstoff diffundieren zu lassen, während andere Gase zurückgehalten werden. Auch die Diffusionsgeschwindigkeiten, die schon bei ca. 600° gut meßbar sind, verhalten sich hier proportional der Quadratwurzel aus dem Wasserstoffdruck. Das Quadratwurzelgesetz weist wohl auf atomistisch gelösten Wasserstoff hin. Bei der Absorption durch Metallmoore handelt es sich offenbar um reine Adsorptions- oder auch chemische Vorgänge. Von den zahlreichen Verbindungen, die das Pt mit fast allen Elementen bildet, interessieren vor allem die Sauerstoff-, Schwefel-, Halogen-, Cyan- und Metallammoniakverbindungen.

8b) Verbindungen des zweiwertigen Pt: Platin(II)oxyd, Platinoxydul, PtO. Pt wird in jeder Form durch Sauerstoff angegriffen. Neben Pt-Moor, das bei gewöhnlicher Temperatur durch absorbierten Sauerstoff oder gebildetes PtO Jodkaliumstärkepapier bläut, oxydiert sich Pt-Schwamm bei 420 bis 450° bis zu 44% zu Oxydul. Auch Pt-Folie wird, wenn auch langsamer, bei dieser Temperatur angegriffen. Am einfachsten gewinnt man Oxydul durch Kochen von Kaliumplatin(II)chlorid mit berechneten Mengen Natronlauge bei Luftabschluß, wobei nach der Gleichung: $PtCl_4'' + 2OH' = 4Cl' + Pt(OH)_2$ schwarzes H_2O-haltiges Oxydul ausfällt. Ganz H_2O-frei ist es bis jetzt noch nicht erhalten worden, besonders schwierig wird es entwässert, wenn es sehr rein ist. Die Farbe ist immer sammtschwarz. In Salzsäure löst es sich zu $PtCl_4''$. In Natronlauge ist es wegen zu geringer Acidität unlöslich.

Platin(II)sulfid, PtS. Es entsteht durch Erhitzen von Platinsalmiak mit Schwefel oder beim Zusammenschmelzen von Pt mit viel Pyrit bei Gegenwart von Borax. Die Farbe ist grauschwarz.

Platin(II)chlorid $PtCl_2$ bildet sich direkt beim Ueberleiten von Chlorgas über Pt-Schwamm bei 250° oder einfach aus H_2PtCl_6 beim Erhitzen auf 250 bis 300° und stellt ein braunes in Wasser unlösliches Pulver vor. Merkwürdig ist sein Absorptionsvermögen für Kohlenoxyd, wobei je nach der Temperatur und den Mengenverhältnissen drei Verbindungen entstehen, nämlich $PtCl_2 + CO$, $PtCl_2 + 2CO$, $2PtCl_2 + 3CO$. Sie bilden hellgelbe bis orangegelb gefärbte schmelzbare Nadeln, die durch Wasser leicht hydrolysiert werden. In Salzsäure löst sich $PtCl_2$ zu $PtCl_4''$ und bildet das nur in Lösung bekannte Wasserstoffplatin(II)chlorid. Das letztere erhält man auch, von der höheren Oxydationsstufe, dem Wasserstoffplatin(IV)-chlorid, ausgehend, durch Einwirkung reduzierender Agentien. Behandelt man das K_2PtCl_6 z. B. mit heißer Kaliumoxalatlösung, so kristallisieren beim Erkalten rubinrote Prismen des Kaliumplatin(II)chlorids (Kaliumchloroplatinit) aus. Durch Anlagerung von H_2O bildet $PtCl_2$ die nur in Lösung angenommene Säure $H_2.[PtCl_2O]$.

Platin(II)bromid $PtBr_2$ ist eine blaugrüne Masse, die am einfachsten durch Erhitzen von Wasserstoffplatin(IV)bromid erhalten wird und in HBr und KBr löslich ist.

Platin(II)jodid PtJ_2 ist ein schwarzes Pulver und entsteht beim Erwärmen von Wasserstoffplatin(II)chlorid mit Jodkaliumlösung.

Platin(II)cyanid, $Pt(CN)_2$ erhält man beim Zusammenbringen konzentrierter Lösungen von H_2PtCl_4 und $Hg(CN)_2$ als gelblichen Niederschlag. Er löst sich leicht in HCN und den entsprechenden Salzen zu Verbindungen vom Typus $X_2.[Pt(CN)_4]$ auf, die durch große Kristallisationsfähigkeit und prachtvolle Fluoreszenzfarben ausgezeichnet sind. Das wichtigste Salz ist das Baryumplatin(II)cyanid, welches aus Wasser bei Gegenwart von H-Ionen in goldgelben, bei Gegenwart von OH-Ionen in grünen Kristallen gewonnen wird, die weder chemisch noch kristallographisch verschieden sind. Seine Verwendung zur Sichtbarmachung von Kathoden-, Radium- und Röntgenstrahlen wurde schon erwähnt. Auch zum Platinieren unedler Metalle auf galvanischem Wege sind die Lösungen des Salzes vorzüglich geeignet.

8c) Verbindungen des dreiwertigen Pt: Platin(III)oxyd (Platinsesquioxyd), Pt_2O_3. Aus $PtCl_3$ und Sodalösung entsteht eine braunrote, kolloidal aussehende Lösung, die rasch, je nach der Fällungstemperatur, einen hell- bis dunkelbraunen Niederschlag von wasserhaltigem Platin(III)-oxyd ausfallen läßt, der beim Trocknen tiefschwarz wird. Er löst sich in konzentrierter NaOH, ferner in konzentrierter HCl unter Bildung von $PtCl_5''$, welches sofort in $PtCl_4''$ und $PtCl_6''$ zerfällt.

Platin(III)chlorid (Platinsesquichlorid). $PtCl_3$ ist aus $PtCl_2$ durch Erhitzen im Cl-Strome auf 330° leicht zu erhalten. Schwarzes Pulver, das durch kochendes Wasser zu $H_2.PtCl_3O$ gelöst wird. Der sehr unbeständige Chloridkomplex $PtCl_5''$ kann er-

Digitized by Google

halten werden, wenn man eine verdünnte Lösung von Cäsiumplatin(II)chlorid mit kaltem Chlorwasser versetzt und den gebildeten dunkelgrünen Brei schnell unter Eiskühlung absaugt. Das K- und Rb-Salz ist unzugänglich.

8d) Verbindungen des vierwertigen Pt. Platin(IV)oxyd, PtO_2. Durch Kochen von H_2PtCl_6 mit überschüssiger Kalilauge und darauffolgendes Ansäuern mit Essigsäure fällt infolge Umwandlung von $PtCl_6''$ in $Pt(OH)_6''$, je nachdem ob die Säure heiß oder kalt zugegeben wird, lichtgelbes $PtO_2.4H_2O$ oder ockergelbes $PtO_2.3H_2O$. Trocknet man letzteres über H_2SO_4, so resultiert umbrafarbenes $PtO_2.2H_2O$. Bei längerem Erhitzen auf 100° geht es in fast schwarzes $PtO_2.H_2O$ über. Das letzte Mol. Wasser hat zu geringe Tension und verschwindet erst beim Zerfall des Oxydes. Die Löslichkeit nimmt mit fallendem Wassergehalt ab. Während das Oxyd mit 4 Mol H_2O in Alkali und verdünnten Säuren löslich ist, löst sich das Oxyd mit 1 Mol. Wasser in Königswasser nicht mehr.

Die Lösung in KOH enthält das K-Salz des Wasserstoffplatin(IV)hydroxyds (Hexaoxyplatinsäure $K_2[Pt(OH)_6]$, welches mit Kaliumstannat isomorph kristallisiert. Aus der Lösung fallen mit Silber- bezw. Thalliumnitrat die entsprechenden Ag- und Tl-Salze.

Platin(IV)chlorid $PtCl_4$ entsteht durch Erhitzen von H_2PtCl_6 im Chlorstrom auf 200°, Zerpulvern der gebildeten braunen Kruste und nochmaliges Erhitzen auf 200° zur Entfernung der letzten Spuren von Wasser und Salzsäure. Es bildet ein rotes, sehr hygroskopisches Pulver. Durch Auflösen von Pt in Königswasser erhält man nicht $PtCl_4$, sondern stets H_2PtCl_6. Man kann jedoch leicht durch Zersetzen von $Ag_2(PtCl_6)$ mit heißem Wasser (s. Abschnitt 6 „Elektrochemie") eine Lösung von $PtCl_4$ erhalten, aus der sich aber große monokline rote Kristalle der Zusammensetzung $H_2(PtCl_4O)+4H_2O$ abscheiden. Das $PtCl_4$ verhält sich also wie das Goldchlorid, durch Addition von Wasser entsteht eine zweibasische Säure. Mit Salzsäure bezw. salzsauren Salzen vereinigt sich Platinchlorid unter Bildung des sehr beständigen Wasserstoffplatin(IV)chlorids H_2PtCl_6 (fälschlich oft Platinchlorid genannt) resp. dessen Salzen, den Chlorplatinaten. Die freie Säure bildet eine dunkelrotbraune, zerfließliche, in Wasser, Alkohol und Aether leichtlösliche Masse und kristallisiert mit 6 Mol H_2O. Die einfachste Darstellung des H_2PtCl_6 geschieht durch Auflösen in Königswasser und mehrmaliges Abdampfen mit Salzsäure. Charakteristisch ist die Schwerlöslichkeit der regulär, oktaedrisch, kristallisierenden K-, NH_4-, Rb- und Cs-Salze, während die Na- und Li-Salze in Wasser und Alkohol leicht löslich sind. Das Na-Salz bildet zum Unterschied von K-Salz rotgelbe Prismen. Beim Erhitzen von H_2PtCl_6 entweicht zunächst etwas Wasser, bei stärkerem Erhitzen Cl und HCl, bis bei 300° glatt $PtCl_2$ gebildet wird.

Platin(IV)bromid, $PtBr_4$, bildet eine schwarzbraune, in Wasser lösliche Masse und entsteht aus Pt-Schwamm, Br und HBr beim Erhitzen im geschlossenen Rohr auf 180°, Eindampfen und Trocknen bei derselben Temperatur.

Platin(IV)jodid PtJ_4 entsteht beim Erwärmen von überschüssigem H_2PtCl_6 mit JK oder HJ als schwarzes in Wasser unlösliches Pulver. Sowohl das Bromid als das Jodid bilden mit HBr, KBr resp. HJ und KJ den Chlorplatinaten entsprechende Verbindungen.

8e) Verbindungen des sechswertigen Pt. Durch anodische Oxydation in eiskalter alkalischer Lösung erhält man eine Verbindung, die in dünnen, seidenglänzenden Blättchen von kristallinischer Beschaffenheit von der Anode abblättert. Die genauen Bildungsbedingungen sind: Platinanode von ca. 50 qcm Oberfläche, Kathode aus Pt-Draht, Verwendung von doppelt normaler Kalilauge und eines Ton-Diaphragmas. ND_A: 3 Amp., Elektrodenspannung 3,5 Volt. Durch Behandlung der entstandenen Verbindung mit eiskalter verdünnter Essigsäure findet Farbenumschlag von gelbgrün in tabakbraun statt und der Körper besitzt nahezu die Zusammensetzung PtO_3. Er stellt ein gewöhnliches höheres Polyoxyd vor, das Salzsäure zu Chlor oxydiert und Permanganatlösung unter O_2-Entwickelung zersetzt. Es sei anschließend erwähnt, daß keines der hier beschriebenen Oxyde für die Platinkatalyse beim Schwefelsäureprozeß in Betracht kommt. Dort handelt es sich wahrscheinlich um ein noch unbekanntes endothermes Oxyd.

8f) Metallammoniakverbindungen: Ein interessantes Kapitel bilden ihrer strukturchemischen Bedeutung wegen die komplexen Metallammoniakverbindungen.

Versetzt man z. B. eine Lösung von Wasserstoffplatin(II)chlorid mit Ammoniak, so entsteht ein grüner Niederschlag von Tetramminplatochloroplatinit (Magnussches Salz), $[Pt(NH_3)_4].PtCl_4$, welches beim Kochen mit konzentriertem Ammoniak in schwerlösliches Tetramminplatochlorid $[Pt(NH_3)_4]Cl_2$ übergeht, während in Lösung das 1,2-Dichlorodiamminplatin $\left[Pt^{(NH_3)_2}_{Cl_2}\right]$ verbleibt. Durch Erhitzen des ersten Salzes auf ca. 250° entsteht 1,3-Dichlorodiamminplatin $\left[Pt^{(NH_3)_2}_{Cl_2}\right]$, welches durch Oxydation mit Chlor wieder übergeht in 1,6-Tetrachlorodiam-

Digitized by Google

minplatin $\left[Pt\begin{matrix}(NH_3)_2\\ Cl_4\end{matrix}\right]$. Auf die gleiche Weise entsteht durch Chloranlagerung aus 1,2-Dichlorodiamminplatin das 1.2-Tetrachlordiamminplatin. Das Pt geht also in den letzten beiden Fällen aus dem zweiwertigen in den vierwertigen Zustand über. Von Bedeutung ist weiterhin die Reaktion, welche stattfindet, wenn man das Tetramminplatochlorid mit Silberoxyd schüttelt. Unter AgCl-Abscheidung erhält man hier das stark basische Tetramminplatinhydroxyd $[Pt(NH_3)_4](OH)_2$, welches in Wasser leicht löslich ist und entsprechend seiner großen Basizität stark in Metallamminion und OH-Ion dissoziiert ist. Da die Cl-Atome durch Br, J, ½ SO_4, NO_2 und andere einwertige Säurereste, das Ammoniak durch Anilin, Phosphine, Pyridin usw. ersetzt werden kann, so ist die Zahl der Derivate eine große. Betrachtet man diese Verbindungen nach den von Werner gegebenen Gesichtspunkten, so bilden die Metallammoniake des zweiwertigen Pt eine Gruppe, in der die Zahl der NH_3-Moleküle zwischen zwei und vier liegt; die Koordinationszahl beträgt also 4:

$$\text{I. } \left[Pt(NH_3)_4\right]Cl_2 \quad \text{II. } \left[Pt\begin{matrix}Cl\\ (NH_3)_3\end{matrix}\right]Cl$$

$$\text{III. } \left[Pt\begin{matrix}Cl_2\\ (NH_3)_2\end{matrix}\right].$$

Es ist hier sukzessive für ein ausgetretenes NH_3-Molekül ein außenstehendes Cl-Atom getreten und damit in direkte Verbindung mit dem Pt-Atom gekommen. Sein ionogener Charakter geht damit verloren. In wässeriger Lösung bilden I und II daher die Ionen $[Pt(NH_3)_4]^{\cdot\cdot}$, $\left[Pt\begin{matrix}Cl\\ (NH_3)_3\end{matrix}\right]^{\cdot}$ und Cl', während Verbindung III undissoziiert ist. Die im Falle III vorkommenden auch in dem obigen Beispiel angedeuteten Isomerieerscheinungen lassen sich durch die an die Aethylenisomerie erinnernden Raumformeln erklären:

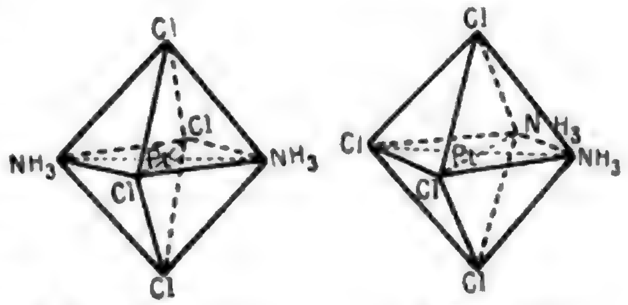
1.2 Dichlorodiamminplatin (cis-Form). 1.3 Dichlorodiamminplatin (trans-Form).

Für die Metallammoniake des vierwertigen Pt gelten ganz ähnliche Betrachtungen. Sie sind analog den Kobaltiaken konstituiert, indem sie sich von dem komplexen Radikal $Pt(NH_3)_6$ resp. von der Verbindung $[Pt(NH_3)_6]Cl_4$ ableiten und demnach die Koordinationszahl 6 besitzen. Die hier möglichen Isomerieerscheinungen in dem Komplex

$$\left[Pt\begin{matrix}Cl_4\\ (NH_3)_2\end{matrix}\right] \text{ und } \left[Pt\begin{matrix}(NH_3)_2\\ Cl_4\end{matrix}\right]$$

lassen sich durch die beiden Stereoformeln erklären:

I. II.



(1.6 Tetrachlorodiamminplatin, trans Form.) (1.2 Tetrachlorodiamminplatin, cis Form.)

Beim Uebergang von zwei- in vierwertiges Pt erfolgt also in Verbindung II z. B. Addition von zwei einwertigen Cl-Atomen an die beiden freien in Diagonalstellung zueinander befindlichen Bindestellen unter Ergänzung zu einem Oktaeder. Vergleiche auch den Artikel „Valenzlehre“.

9. Spektralchemie. Das Spektrum des Platins, daß durch großen Linienreichtum ausgezeichnet ist, ist aus den beim Osmium angeführten Werken von Eder und Valenta und Exner und Haschek zu ersehen.

10. Kolloidchemie. Aus Wasserstoffplatinchloridlösung lassen sich durch reduzierende Stoffe wie Formaldehyd, Brenzkatechin und Hydrazinhydrat tiefbraune kolloidale Pt-Lösungen gewinnen. In noch feinerer Verteilung erhält man ein rotgefärbtes Pt-Sol auf dem Reduktionswege, wenn man Platinchloridlösung mit ätherischer Phosphorlösung schüttelt oder aber bequemer, wenn man die Lösung mit Zinnchlorür vorsichtig versetzt; man hat es im letzteren Falle mit einem dem Cassiusschen Goldpurpur entsprechenden Pt-Sol zu tun, in dem durch Schutzkolloide wie Zinnchlorür und seine Hydrolysenprodukte das Metall in der ungemein feinen Verteilung erhalten wird. Absolut reines Pt-Sol erhält man nach Bredig, wenn man unter Wasser 2 mm starke Pt-Drähte durch einen Strom von 5—7 Amp. und 30—40 Volt Bogenspannung kathodisch zerstäuben läßt. Man erhält dunkelbraune Sole, die bis 200 mg Pt im Liter enthalten können. Wegen ihrer starken katalytischen Wirksamkeit und ihrer Aehnlichkeit mit organischen Fermenten bezeichnete Bredig sie als anorganische Fermente. Durch minimale Spuren anwesender „Gifte“ wie 0,000 000 1 gr-Mol. H_2S oder 0,000 000 05 gr-Mol. HCN pro Liter wird ihre Wirksamkeit z. B. die Zersetzung von H_2O_2 „gelähmt“.

Digitized by Google

Festes kolloidales Pt kann erhalten werden, wenn man lysalbinsaures Na und neutralisiertes oder schwach alkalisches H_2PtCl_6, nach Zusatz von Hydrazinhydrat und erfolgter Reduktion dialysiert und vorsichtig zur Trockne dampft. Es bildet schwarze, stark glänzende Lamellen, die auch nach dem Erhitzen ihre Wasserlöslichkeit behalten.

Literatur. **O. Dammer**, *Handbuch der anorganischen Chemie. Stuttgart 1893 und 1903.* — **Graham-Otto**, *Ausführliches Lehrbuch der anorganischen Chemie. Braunschweig 1889.* — **A. F. Holleman**, *Lehrbuch der anorganischen Chemie. Leipzig 1909.* — **Swarts-Cronheim**, *Lehrbuch der anorganischen Chemie. Berlin 1911.* — **F. P. Treadwell**, *Kurzes Lehrbuch der analytischen Chemie. Qualitative und quantitative Analyse. Leipzig und Wien 1912 und 1911.* — **A. Werner**, *Neuere Anschauungen auf dem Gebiet der anorganischen Chemie. Braunschweig 1909.*

F. Sommer.

Osmotische Theorie.

1. Diffusion: a) in Gasen. b) In Flüssigkeiten. c) In festen Stoffen. 2. Osmose und osmotischer Druck. 3. Semipermeable Scheidewände. Mechanismus. 4. Messung des osmotischen Druckes: a) Direkt. b) Indirekt. Thermodynamik. 5. van't Hoffs Gesetz. Ausnahmen. Beweis. 6. Bedeutung des osmotischen Druckes: a) Theorie der Lösungen. b) Diffusion. c) Galvanische Ketten. d) Physiologie.

1. **Diffusion.** Die osmotische Theorie geht von der Tatsache aus, daß zwei chemisch verschiedene mischbare Stoffe, miteinander in Berührung gebracht, das Bestreben haben, sich zu vermischen. Sie diffundieren ineinander, und da dieser Vorgang von selbst stattfindet, so muß eine treibende Kraft, die ihn veranlaßt, vorhanden sein. Diese Kraft ist, wie später gezeigt wird, der osmotische Druck, und es soll zunächst, um die Allgemeinheit dieses Verhaltens zu zeigen, die Diffusion in gasförmigen, flüssigen und festen Stoffen besprochen werden.

1a) D i f f u s i o n i n G a s e n. Schichtet man in einem Zylinder ein leichtes Gas, z. B. Wasserstoff, vorsichtig über ein schweres, z. B. Kohlensäure, so findet man, daß nach einiger Zeit, entgegen der Wirkung der Schwerkraft, das Kohlendioxyd nach oben diffundiert und der Wasserstoff nach unten, und dieser Vorgang hört erst auf, wenn im ganzen Zylinder die Zusammensetzung des Gases überall gleich ist und ein vollständig homogenes Gemisch von Wasserstoff und Kohlendioxyd entstanden ist. Genau so wie sich in einem reinen Gase die Druckunterschiede ausgleichen, tritt ganz allgemein Diffusion ein, wenn in einem Gasgemisch der Partialdruck eines Gases an verschiedenen Stellen verschieden ist, und je größer die Verschiedenheit, das „Druckgefälle“, ist, um so stärker ist auch die Diffusion. Nach der kinetischen Molekulartheorie erklärt sich das Zustandekommen der Diffusion dadurch, daß die Gasmoleküle infolge der Temperaturbewegung mit großer Geschwindigkeit gleichmäßig nach allen Richtungen durcheinander fahren und so die Molekeln des einen Gases in das andere eindringen und umgekehrt und eine Vermischung hervorbringen. Daß trotz der überaus großen Geschwindigkeit der Molekeln die Diffusion in Wirklichkeit recht langsam vor sich geht, rührt von den zahlreichen Zusammenstößen her, die die meisten eindringenden Moleküle nach kurzer Zeit zur Umkehr zwingen. Die exakte mathematische Behandlung der Theorie der Gasdiffusion bietet große, noch nicht völlig überwundene Schwierigkeiten.

1b) D i f f u s i o n i n F l ü s s i g k e i t e n. Bei der Diffusion in Flüssigkeiten ist der wichtigste Fall die Diffusion in verdünnten Lösungen. Besitzt in einer Lösung der gelöste Stoff an verschiedenen Orten verschiedene Konzentration, so diffundiert er so lange von den Stellen höherer zu denen niedrigerer Konzentration, bis die Lösung überall gleich konzentriert ist. Der erste, der die Diffusion in Lösungen in umfangreichen Arbeiten quantitativ untersuchte, war G r a h a m. Er fand, daß die Geschwindigkeit der Diffusion in allen Fällen mit steigender Temperatur zunimmt und stark von der Natur des gelösten Stoffes abhängt. Auf Grund dieses Verhaltens teilte G r a h a m die gelösten Stoffe in zwei große Klassen, die Kristalloide und die Kolloide. Erstere diffundieren verhältnismäßig schnell und gehen leicht in den Kristallzustand über, letztere dagegen diffundieren viel langsamer und kristallisieren nur sehr träge oder gar nicht, besitzen aber zum Teil die Fähigkeit, zu einer Gallerte zu erstarren, zu gelatinieren. Ein quantitatives den Diffusionsvorgang beherrschendes Gesetz wurde einige Jahre später von F i c k aufgestellt. Es beruht auf der Anschauung, daß, da Diffusion nur bei Konzentrationsunterschieden eintritt, die Geschwindigkeit der Diffusion der Größe dieser Unterschiede, dem Konzentrationsgefälle proportional ist. Betrachte ich also irgendeinen kleinen ebenen Querschnitt dq durch die Lösung, längs dessen Normale die Konzentration um dc abnimmt, wenn ich mich um das Stück dx entferne, so ist die durch diesen Querschnitt in der Zeit dt hindurchdiffundierende Menge Salz ds proportional dem Gefälle $\frac{dc}{dx}$, der Größe dq des Querschnittes und der Zeit dt, das heißt es ist:

$$ds = -k \frac{dc}{dx} . dq . dt,$$

wobei k eine von der Temperatur und der chemischen Natur des gelösten Stoffes und des Lösungsmittels abhängige, aber von der Konzentration unabhängige Konstante, der Diffusionskoeffizient, ist. Dieses Gesetz gilt nur für verdünnte Lösungen und ist für diese mehrfach in schwierigen Experimentaluntersuchungen bestätigt worden, z. B. außer für wässerige Lösungen auch für Lösungen von Metallen in Quecksilber (Diffusionsamalgame) und für Kristalloide in gelatinierten Lösungen, in denen die Diffusion fast genau ebensogroß ist als in reinem Wasser. Die kinetische Theorie der Diffusion wird auf S. 389 besprochen werden.

1c) Diffusion in festen Stoffen. Auch in festen Stoffen hat sich das Stattfinden von Diffusion unter Bildung einer festen Lösung (vgl. die Artikel „Lösungen" und „Legierungen") nachweisen lassen, wenngleich sie bei gewöhnlicher Temperatur natürlich sehr gering ist. So vermag z. B. in Platin oder Palladium gelöster Wasserstoff sich in dem ganzen Metall auszubreiten, und naszierender Wasserstoff ist sogar imstande, Eisen bei Zimmertemperatur zu durchdringen. Eine in der Technik bei der Zementierung des Eisens eine Rolle spielende Erscheinung ist auch die Diffusion von Kohlenstoff in Eisen bei hohen Temperaturen, die aber noch weit vom Schmelzpunkt des Eisens entfernt sind. Für die Diffusion von Gold in Blei konnte Austen sogar die Gültigkeit des Fickschen Diffusionsgesetzes nachweisen.

2. **Osmose und osmotischer Druck.** Es erhebt sich nun die Frage nach der treibenden Kraft der Diffusion, die, wie wir sahen, eine ganz allgemeine Erscheinung ist. Die Beantwortung dieser Frage wird ermöglicht durch die Anwendung sogenannter halbdurchlässiger oder semipermeabler Wände, die von den beiden ineinander diffundierenden Stoffen den einen frei hindurchlassen, für den anderen dagegen undurchdringlich sind. Eine solche Wand stellt z. B. für ein Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff ein glühendes Palladiumblech dar, welches den Wasserstoff auflöst und daher für ihn durchlässig, für den Stickstoff dagegen vollständig undurchlässig ist. Habe ich nun (Fig. 1) einen allseitig geschlossenen Zylinder, dessen linke Hälfte mit dem Wasserstoff-Stickstoffgemisch gefüllt und durch einen nur für Wasserstoff permeablen Stempel von reinem Wasserstoff getrennt ist, so werden auch hier die beiden Gase sich zu vermischen streben. Da nun der Stempel für Wasserstoff durchlässig ist, so wird sich dieser im ganzen zur Verfügung stehenden Raume gleichmäßig ausbreiten; der Stickstoff aber, der dasselbe zu tun strebt, wird durch den Stempel zurückgehalten und sucht ihn daher nach der Seite des reinen Wasserstoffes zu verschieben. Um dies zu verhindern, muß man auf den Stempel einen Druck in entgegengesetzter Richtung ausüben, der dem Diffusionsbestreben des Stickstoffs gerade das Gleichgewicht hält und somit ein Maß für die Größe desselben ist. Man nennt diesen Druck den osmotischen Druck des Stickstoffs. Seine Größe ist, wie experimentell festgestellt wurde, gleich dem Partialdrucke des Stickstoffs, das heißt gleich dem Drucke, den der Stickstoff in demselben Volumen auf eine gewöhnliche Wand bei Abwesenheit des Wasserstoffs ausüben würde. Dieses Resultat ist nach den Anschauungen der kinetischen Gastheorie leicht zu erklären; denn da der Stempel für die Wasserstoffmoleküle durchlässig ist, kann der Druck nur von den aufprallenden Stickstoffmolekülen herrühren, und deren Druck wiederum wird bei genügend verdünnten Gasen, bei denen die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Molekülen zu vernachlässigen ist, durch die Anwesenheit der Wasserstoffmoleküle nicht beeinflußt, sondern ist gleich dem Drucke, den der Stickstoff im reinen Zustande ausüben würde.

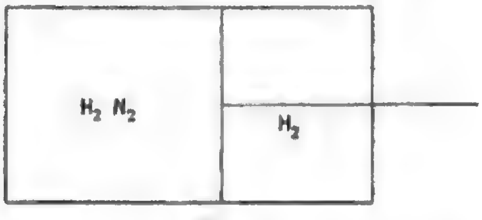


Fig. 1.

Von größtem Interesse ist nun die Osmose bei Flüssigkeiten, bei denen sie auch historisch zuerst studiert wurde. Der erste, der halb durchlässige Wände herstellte, war Traube (1867). Er zeigte, daß eine Niederschlagsmembran aus Ferrocyankupfer, die an der Berührungsfläche zwischen einer Kupfersulfatlösung und einer Ferrocyankaliumlösung entsteht, für Wasser durchlässig ist, dagegen nicht durchlässig für eine Reihe im Wasser aufgelöster Stoffe, z. B. für viele Salze und Rohrzucker. Pfeffer (1877) benutzte nun eine solche Membran, durch die er eine wässerige Zuckerlösung von reinem Wasser trennte, um den Druck zu messen, den man auf diese Membran ausüben muß, um eine Vermischung der Lösung mit dem reinen Lösungsmittel zu verhindern. Seine Anordnung war im Prinzip die in Figur 2 dargestellte. Um der Ferrocyankupfermembran die nötige Festigkeit gegenüber den auftretenden hohen Drucken zu geben, lagerte er sie in eine poröse Tonzelle ein. Diese wurde mit wässeriger Zuckerlösung gefüllt, durch einen Stopfen mit Steigrohr verschlossen

und in ein mit reinem Wasser gefülltes Becherglas gesetzt. Dann suchen Lösung und reines Wasser sich zu vermischen, und da die Diffusion des Zuckers in das reine Wasser durch die semipermeable Wand verhindert wird, kann dies nur dadurch geschehen, daß Wasser von außen in die Zelle hineindiffundiert. Dadurch steigt die Lösung im Steigrohr in die Höhe und dieser Vorgang, die Osmose, dauert so lange, bis der dadurch entstehende hydrostatische Druck der treibenden Kraft der Osmose das Gleichgewicht hält. Auch hier nennt man den Druck, den die Wassersäule auf die Wand der Tonzelle ausübt, den osmotischen Druck der Lösung. Dieser ist also ganz allgemein der Druck, der auf eine die Lösung von reinem Lösungsmittel trennende semipermeable Wand ausgeübt werden muß, um eine Vermischung zu verhindern.

3. Halbdurchlässige Scheidewände. Mechanismus. Die Frage nach der Ursache der Halbdurchlässigkeit ist allgemein noch nicht gelöst, und es ist auch wahrscheinlich, daß der Mechanismus verschiedener halbdurchlässiger Membranen verschieden ist. Zunächst stellte man sich die Wirksamkeit einer solchen Membran als die eines Siebes vor, dessen feine Poren zwar die kleinen Lösungsmittelmoleküle, aber nicht die ja im allgemeinen größeren Moleküle des gelösten Stoffes hindurchlassen. Wenn diese grobsinnliche Vorstellung auch im allgemeinen sicher falsch ist, so scheint sie doch in gewissen speziellen Fällen zuzutreffen. Besonders spricht hierfür die Tatsache, daß gelatinierte Kolloidlösungen, die man sich ja gewebe- oder schwammartig mit äußerst kleinen kapillaren Zwischenräumen strukturiert denkt, für die außerordentlich großen Kolloidmoleküle undurchlässig sind, während sie Kristalloide fast so leicht wie reines Wasser hindurchdiffundieren lassen. Am besten begründet und in sehr vielen Fällen sicher zutreffend ist jedoch die Ansicht, daß die Halbdurchlässigkeit auf auswählender Löslichkeit beruht, d. h. daß die Substanz, aus der die Membran besteht, gewisse Stoffe löst und daher für diese durchlässig ist, andere Stoffe dagegen nicht oder nur unmerklich löst, und für sie daher ganz oder fast undurchdringlich ist. Es wurde schon oben erwähnt, daß ein glühendes Palladium- oder Platinblech, welches Wasserstoff auflöst, andere Gase aber nicht, als semipermeable Wand für Lösungen dieser Gase in Wasserstoff dienen kann. Ebenso löst Kautschuk Kohlendioxyd viel besser als Luft auf, und ein mit Kohlendioxyd gefülltes, durch eine Kautschukmembran geschlossenes Gefäß evakuiert sich von selbst beim Stehen an der Luft. Ebenso läßt sich die verschiedene Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten zur Herstellung solcher Membranen verwenden. So ist z. B. Ammoniak oder Salzsäure in Wasser sehr leicht löslich, Luft dagegen nur wenig. Tränkt man also, um der Wasserhaut Halt zu geben, eine tierische Membran (z. B. Schweinsblase) mit Wasser, und bindet sie über einen mit Ammoniak gefüllten Trichter, dessen Rohr unten in ein Quecksilbergefäß taucht, so sieht man, wie das Quecksilber im Trichterrohre in die Höhe steigt, weil durch die Membran das Ammoniak viel schneller hinaus- als die Luft hineindiffundiert. Daß nun dieser Mechanismus der Halbdurchlässigkeit auch für flüssige Lösungen möglich ist, dafür hat Nernst durch folgenden einfachen Versuch den Beweis gegeben. In Wasser ist bekanntlich Aether merklich, Benzol dagegen fast gar nicht löslich. Nernst baute nun ein dem in Figur 2 dargestellten analoges Osmometer auf, indem er als Zelle ein Probierrohr, dessen abgesprengter Boden durch eine mit Wasser getränkte Schweinsblase ersetzt war, verwandte und eine Lösung von Benzol in Aether hineinfüllte, während das die Zelle umgebende Lösungsmittel reiner Aether war. Dann war genau wie bei dem Pfefferschen Versuch ein Ansteigen der Benzol-Aetherlösung im Steigrohr zu beobachten. Auch die in der Physiologie eine große Rolle spielende Halbdurchlässigkeit der Wände von pflanzlichen und tierischen Zellen beruht nach Overton auf auswählender Löslichkeit. Man nimmt an, daß die Zelle von einer aus fettartigen Stoffen, sogenannte Lipoiden (hauptsächlich Cholesterin und Lecithin), bestehenden Plasmahaut umgeben und somit für lipoidlösliche Substanzen permeabel, für lipoidunlösliche impermeabel ist. Es scheint jedoch, daß der Mechanismus hier in Wirklichkeit noch viel komplizierter ist und die Overtonsche Theorie noch verändert und ergänzt werden muß.

4. Messung des osmotischen Druckes. 4a) Auf direktem Wege. Der osmotische Druck ist mit Hilfe einer semipermeablen Scheidewand zuerst von Pfeffer auf dem oben angegebenen Wege (S. 384) gemessen worden, wobei er übrigens, um die Verdünnung der Lösung durch eintretendes Lösungsmittel zu vermeiden, statt eines Steigrohres meist ein geschlossenes Quecksilbermanometer anwandte. Später wurden diese Messungen von Morse und Frazer unter allen erdenklichen Vorsichtsmaßregeln wiederholt und so der osmotische Druck von wässerigen Zuckerlösungen sehr genau bestimmt. Ebenfalls auf der Halbdurchlässigkeit der Ferrocyankupfermembran beruht die elegante, von Tammann herrührende Schlierenmethode. Bringt man einen Tropfen konzentrierte Ferrocyankaliumlösung in Kupfersulfatlösung, so bildet sich sofort eine

Digitized by Google

Niederschlagsmembran, die konzentrierte Lösung innerhalb derselben entzieht der äußeren Lösung Wasser, und man sieht Schlieren von konzentrierter schwerer Kupfersulfatlösung an der Membran herabsinken. Mit dem Töplerschen Schlierenapparat kann man noch sehr geringe Konzentrationsunterschiede feststellen, und indem man mit Ferrocyankalium- und Kupfersulfatlösungen von bekanntem osmotischem Druck arbeitet, kann man durch Variation der Zusätze des zu untersuchenden Stoffes die Konzentration ermitteln, bei der gerade keine Schlierenbildung mehr auftritt. Der osmotische Druck einer Lösung des betreffenden Stoffes von solcher Konzentration ist dann gleich der Differenz der osmotischen Drucke der Ferrocyankalium- und der Kupfersulfatlösung. Im allgemeinen ist jedoch die direkte Methode wegen der Schwierigkeit resp. Unmöglichkeit, wirklich semipermeable haltbare Wände herzustellen, und anderer experimenteller Schwierigkeiten wegen kaum brauchbar, während die im folgenden Abschnitt erwähnten indirekten Methoden viel einfacher und genauer sind. Nur wo diese nicht anwendbar sind, greift man zur direkten Druckmessung. Für sehr geringe osmotische Drucke z. B., wie sie die Kolloidlösungen zeigen, ist die Steighöhenmethode vorteilhafter, weil ein osmotischer Druck von 10 cm Wassersäule etwa 0,001° Gefrierpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung entspricht (siehe folgenden Abschnitt). Außerdem wird der osmotische Druck tierischer und pflanzlicher Zellen stets mit Hilfe der sie von Natur aus umgebenden semipermeablen Wände bestimmt. Für die Messung des in Pflanzenzellen herrschenden osmotischen Druckes hat de Vries die sogenannte plasmolytische Methode angegeben. Eine Pflanzenzelle besteht im wesentlichen aus einem den Zellsaft umgebenden geschlossenen Protoplasmaschlauch, der für Wasser leicht durchlässig, für viele darin gelöste Stoffe aber undurchlässig ist, und der seinerseits wieder von der festen Zellwand umgeben ist. Legt man nun die Zelle in reines Wasser, so wirkt der osmotische Druck der im Zellsaft gelösten Stoffe auf den semipermeablen Protoplasmaschlauch und dieser wird infolgedessen an die Zellwand gepreßt, wobei natürlich Wasser in die Zelle hineindiffundiert. Wird nun das Außenwasser nacheinander durch Lösungen von immer höherem osmotischem Drucke ersetzt, so wirkt dieser dem inneren osmotischen Drucke entgegen, und der auf den Protoplasten und somit die Zellwand wirkende Druck ist gleich der Differenz der osmotischen Drucke von Innen- und Außenflüssigkeit. Wird diese Differenz gleich Null, d. h. werden die beiden Lösungen isotonisch, so wird auch der Druck auf die Zellwand gleich Null, und bei der kleinsten Steigerung des osmotischen Druckes der äußeren Lösung entzieht diese dem Protoplasmaschlauch Wasser, so daß er sich zusammenzieht und von der Zellwand ablöst. Man nennt diesen Vorgang nach de Vries Plasmolyse, und die Konzentration der Lösung, bei der die Plasmolyse gerade anfängt sich bemerkbar zu machen, die plasmolytische Grenzkonzentration. Der osmotische Druck dieser Lösung, der gleich dem im Zellinnern herrschenden ist, muß also anderweitig bekannt sein. Zu bemerken ist noch, daß falls die Zellwand nicht unausdehnbar ist, sie sich bei der Abnahme des auf sie wirkenden Druckes zusammenzieht, so daß der Zellsaft beim Eintreten der Plasmolyse konzentrierter ist als zu Beginn des Versuches. Kennt man die Volumabnahme der Zelle, so kann man mit Hilfe des van't Hoffschen Gesetzes (siehe S. 388) den Anfangsdruck berechnen. Eine sich an die plasmolytische anschließende Methode, den osmotischen Druck von Blutkörperchen, die zwar eine semipermeable Plasmahaut aber keine Zellwand besitzen, zu messen, hat Hamburger angegeben. Bringt man nämlich Blutkörperchen in eine hypotonische Kochsalzlösung, d. h. in eine Lösung, deren osmotischer Druck kleiner ist als der im Innern der Zelle herrschende, dann entzieht diese der Außenlösung Wasser, quillt auf und, da die Plasmahaut gegen Ueberdruck wenig widerstandsfähig ist, platzt sie schließlich, so daß der in der Zelle enthaltene Blutfarbstoff austritt und die Lösung rot färbt. Geht man nun von einer konzentrierten (hypertonischen) Kochsalzlösung, die natürlich ungefärbt bleibt, zu immer verdünnteren über, so ist der osmotische Druck derjenigen Lösung, bei der gerade die Rotfärbung, die Hämolyse, beginnt, ein Maß für den in den Blutkörperchen herrschenden Druck. Allerdings ist dieser immer etwas größer als derjenige der hämolysierenden Lösung, da die Plasmahaut immerhin eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen Ueberdruck besitzt, die sogar für Blut verschiedener Tiere verschieden ist. Jedoch kann man, worauf auch die historische Bedeutung der Methode beruht, sie ebenso wie die plasmolytische Methode dazu verwenden, um zu bestimmen bei welchen Konzentrationen Lösungen verschiedener Stoffe den gleichen osmotischen Druck ausüben, indem man ihre plasmolytischen oder hämolytischen Grenzkonzentrationen gegenüber derselben Zelle bestimmt. Es sind dies, wie hier schon bemerkt sei, nach van't Hoff die äquimolekularen Konzentrationen (siehe S. 388). Schließlich sei noch erwähnt, daß man ganz allgemein auch bei tierischen Zellen den osmotischen

Digitized by Google

Druck feststellen kann, indem man von der Tatsache Gebrauch macht, daß die Zellen aus hypotonischen Lösungen Wasser aufnehmen, an hypertonische Wasser abgeben, in isotonischen dagegen unverändert bleiben, was man durch Wägung oder Volummessung feststellt.

4b) Indirekte Methoden. Thermodynamik. Die indirekten Methoden zur Bestimmung des osmotischen Druckes beruhen sämtlich auf der Bestimmung der maximalen Arbeit, die man beim isothermen und reversiblen Hinzufügen von Lösungsmittel zur Lösung gewinnen kann (vgl. den Artikel „Lösungen", S. 449). Denke ich mir, wie in Figur 3, die Lösung von reinem Lösungsmittel durch einen semipermeablen Stempel, auf den ein dem osmotischen Druck π gleicher Gegendruck wirkt, getrennt, und lasse ich nun den Stempel durch Hinzutreten von dx Molen Lösungsmittel um das Volumen dv sich verschieben, so ist die hierbei von dem osmotischen Druck geleistete Arbeit π dv, falls dx so klein ist, daß sich die Konzentration der Lösung während des Vorganges nicht ändert. Füge ich nun die dx Mole auf irgendeine andere isotherme und reversible Weise zur Lösung hinzu und ist die dabei gewonnene maximale Arbeit dA, so ist $\pi dv = dA$, also $\pi = \frac{dA}{dv}$, da nach dem zweiten Hauptsatze die maximale Arbeit von dem Wege, auf dem sie gewonnen wird, unabhängig ist. Ich will nun dA für den Fall des Hinzudestillierens berechnen. Zu diesem Zwecke denke ich mir reines Lösungsmittel in einem Zylinder mit beweglichem Kolben, auf den ich, um ihn im Gleichgewicht zu halten, einen Druck p gleich dem Dampfdruck der Flüssigkeit ausüben muß. Lasse ich nun dx-Mole verdampfen, und ist v das Volumen eines Moles gesättigten Dampfes, v.dx also das Volumen von dx Molen, so wird der Stempel um das Volumen v.dx verschoben und die maximale Arbeit p.v.dx gewonnen. Nach den Gasgesetzen ist nun für ein Mol pv=RT (T absolute Temperatur, R Gaskonstante), also pvdx=RTdx. Nun lasse ich die dx-Mole sich isotherm und reversibel ausdehnen, bis ihr Druck gleich dem Dampfdruck p' des Lösungsmittels über der der Lösung geworden ist. Das Volumen eines Moles Dampf ist dann v', und die maximale Arbeit, die ein Mol Gas bei der Ausdehnung vom Volumen v auf das Volumen v' liefern kann, ist

$$\int_v^{v'} p dv = \int_v^{v'} \frac{RT}{v} dv = RT \int_v^{v'} \frac{dv}{v} = RT\ln \frac{v'}{v} = RT\ln \frac{p}{p'}.$$

Für dx Mole ist diese Arbeit also $RTdx\ln\frac{p}{p'}$. Nun bringe ich die dx Mole Dampf über die Lösung, wobei ich mir, falls auch der gelöste Stoff einen merkbaren Dampfdruck besitzt, einen für diesen undurchlässigen, für den Dampf des Lösungsmittels durchlässigen Stempel über der Oberfläche der Lösung angebracht denke. Jetzt kondensiere ich die dx-Mole, wobei ich das Volumen des Systems um v'dx gegen den Druck p' gleich dem Dampfdruck der Lösung verkleinern, also mindestens die Arbeit p'v'dx=RTdx leisten muß. Im ganzen habe ich bei der Ueberführung von dx Molen reinen Lösungsmittels zur Lösung die Arbeit

$$dA = RTdx + RTdx\ln \frac{p}{p'} - RTdx = RTdx\ln \frac{p}{p'}$$

gewonnen, stets die Gültigkeit der Gasgesetze für den Dampf vorausgesetzt. Es ist also

$$\pi = \frac{dA}{dv} = RT \frac{dx}{dv} \ln \frac{p}{p'}.$$

Hierbei ist dv das Volumen, um das die Lösung zunimmt, wenn ich dx-Mole Lösungsmittel hinzufüge, wobei das Molekulargewicht im Dampfzustande genommen werden muß. Findet nun bei der Vermischung weder Kontraktion noch Dilatation statt, so ist dv gleich dem Volumen der dx-Mole in reinem Zustande. Ist M das Molekulargewicht des dampfförmigen, s das spezifische Gewicht des flüssigen Lösungsmittels, so ist das Volumen eines Moles $\frac{M}{s}$, das von dx-Molen $dv = \frac{M}{s}dx$. Also ist

$$\pi = RT \frac{s}{M} \ln \frac{p}{p'} = 0{,}0821T \frac{1000s}{M} \ln \frac{p}{p'},$$

falls man den osmotischen Druck in Atmosphären erhalten will. Für genügend verdünnte Lösungen wird die Voraussetzung, daß beim Mischen keine Volumänderung eintritt, zwar stets zutreffen, für konzentrierte Lösungen dagegen, bei denen namentlich die Kontraktion manchmal sehr erheblich ist, muß man die Veränderlichkeit des spezifischen Gewichtes der Lösung mit ihrer Zusammensetzung kennen, woraus man dann $\frac{dx}{dv}$ berechnen kann. Vernachlässigt haben wir bei unserer Ableitung die Kompressibilität. Ist β der Kompressionskoeffizient der Lösung, auf Atmosphären bezogen, so lautet die genaue Formel

$$\pi + \frac{\beta}{2}\pi^2 = RT \frac{dx}{dv} \ln \frac{p}{p'}.$$

Diese Korrektur ist jedoch fast stets zu vernachlässigen, sie beträgt z. B. für wässerige

Digitized by Google

Lösungen erst bei 100 Atmosphären ca. $^1/_4$%. Der osmotische Druck einer beliebig konzentrierten Lösung läßt sich also mit Hilfe ihres Dampfdruckes vollständig streng berechnen. In praxi bestimmt man meistens nicht den Dampfdruck, sondern den Siedepunkt der Lösung, dessen Messung viel einfacher ist. Der Dampfdruck p' der Lösung ist bei ihrer Siedetemperatur T gleich dem Atmosphärendruck p_0. Den Dampfdruck p des reinen Lösungsmittels bei dieser Temperatur T kann man nach Clausius aus seinem Siedepunkt T_0 bei dem Drucke p_0 mit Hilfe der molekularen Verdampfungswärme λ berechnen. Es ist nämlich

$$\ln\frac{p}{p_0}=\frac{\lambda}{R}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T}\right)=\frac{\lambda}{R}\frac{T-T_0}{TT_0}=\frac{\lambda}{R}\frac{t}{TT_0},$$

wenn ich die Siedepunkterhöhung $T-T_0$ mit t bezeichne. Es ist also der osmotische Druck der Lösung bei der Temperatur T:

$$\pi=RT\frac{s}{M}\ln\frac{p}{p'}=RT\frac{s}{M}\ln\frac{p}{p_0}=\frac{s\lambda t}{MT_0}$$
$$=sl\frac{t}{T_0},$$

wenn l die spezifische Verdampfungswärme ist. Eine ganz analoge Formel gilt für die Berechnung von π beim Gefrierpunkte T einer Lösung aus der Gefrierpunktserniedrigung t, dem Schmelzpunkt T_0 und der Schmelzwärme w des reinen Lösungsmittels. Es ist $\pi=sw\frac{t}{T_0}$. Diese beiden Formeln sind übrigens unabhängig von der Gültigkeit der Gasgesetze für den Dampf, gelten dagegen nur, falls der gelöste Stoff nicht im Dampf oder dem ausfrierenden Lösungsmittel enthalten ist. Ebenso ist die Konstanz der Verdampfungswärme resp. Schmelzwärme im Intervall $T-T_0$ Voraussetzung, was für kleine Werte von t stets zutrifft. Anderenfalls kann man den osmotischen Druck vollständig exakt berechnen, falls man die Veränderlichkeit von l resp. w mit der Temperatur, d. h. die spezifischen Wärmen des flüssigen und gasförmigen resp. festen Lösungsmittels, deren Differenz nach dem ersten Hauptsatze bekanntlich $\frac{dl}{dT}$ resp. $\frac{dw}{dT}$ ist, im Intervalle $T-T_0$ kennt. Es sei schließlich noch bemerkt, daß man die maximale Arbeit, die man beim Vermischen von Lösungsmittel und Lösung erhält, und somit den osmotischen Druck noch aus einer Reihe von anderen Größen berechnen kann, z. B. aus der Löslichkeitserniedrigung des Lösungsmittels in einem dritten Stoffe, der den gelösten Stoff nicht löst, oder aus dem Dampfdruck des gelösten Stoffes in seiner Abhängigkeit von der Konzentration der Lösung. Will man den osmotischen Druck für andere Temperaturen berechnen, z. B. die Messungen auf den Siedepunkt resp. Schmelzpunkt T_0 des reinen Lösungsmittels beziehen, so kann man dies, falls man die Verdünnungswärme q der Lösung kennt, d. h. die Wärmemenge, die beim Zusatz von ein Mol Lösungsmittel zu einer großen Menge Lösung, entwickelt wird. Es ist nämlich

$$\frac{d\ln\frac{p}{p'}}{dT}=-\frac{q}{RT^2}.$$

Ist nun $q=o$, wie dies bei verdünnten Lösungen der Fall ist, so ist $\ln\frac{p}{p'}$ unabhängig von der Temperatur, also der osmotische Druck, da $\pi=RT\frac{s}{M}\ln\frac{p}{p'}$ ist, im wesentlichen proportional der absoluten Temperatur. Ist q positiv, d. h. wird bei der Verdünnung Wärme entwickelt, so nimmt $\ln\frac{p}{p'}$ mit steigender Temperatur ab und der osmotische Druck wächst langsamer als die Temperatur, ist q negativ, so wächst er schneller.

5. Van't Hoffs Gesetz. Ausnahmen. Beweis. (Vgl. den Artikel „Lösungen".) Die äußerst zahlreichen Messungen des osmotischen Druckes auf direktem und besonders indirektem Wege haben für verdünnte Lösungen ein sehr einfaches Gesetz ergeben, das von van't Hoff 1885 aufgestellt wurde und von größter Bedeutung für viele Gebiete der

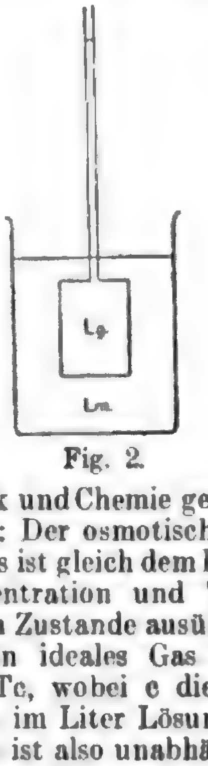


Fig. 2.

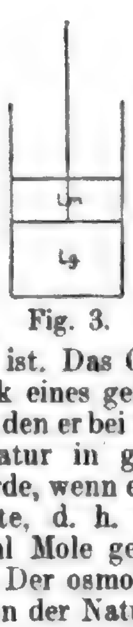


Fig. 3.

Physik und Chemie geworden ist. Das Gesetz lautet: Der osmotische Druck eines gelösten Stoffes ist gleich dem Drucke, den er bei dieser Konzentration und Temperatur in gasförmigem Zustande ausüben würde, wenn er sich wie ein ideales Gas verhielte, d. h. es ist $\pi=RTc$, wobei c die Anzahl Mole gelöster Stoffe im Liter Lösung ist. Der osmotische Druck ist also unabhängig von der Natur der gelösten Substanz, d. h. äquimolekulare Lösungen sind isotonisch. Außerdem ist er proportional der Konzentration und der Temperatur, und der Proportionalitätsfaktor R ist numerisch gleich der universellen Gas-

konstanten. Das Gesetz gilt jedoch nur für verdünnte Lösungen, während sich bei konzentrierten Lösungen starke Abweichungen zeigen. Die Gültigkeitsgrenze liegt etwa bei einer Konzentration von ½ Mol pro Liter, ist aber von Stoff zu Stoff verschieden. Auch hat es sich gezeigt, daß die Proportionalität zwischen osmotischem Druck und Konzentration besser gilt, wenn man diese nicht in Molen gelöster Substanz pro Liter Lösung (Arrheniussche Zählung), sondern pro Liter resp. pro 1000 g Lösungsmittel (Raoultsche Zählung) angibt. Doch ist dies nur eine empirisch gefundene Regelmäßigkeit, die z. B. für gelöste Gase gar nicht zu stimmen scheint. Für verdünnte Lösungen, für die allein das van't Hoffsche Gesetz streng gilt, werden natürlich beide Zählungen identisch. Es gibt nun eine Klasse von Lösungen, die den van't Hoffschen Gesetzen gar nicht zu gehorchen scheint. Es sind dies die Lösungen der Elektrolyte, der Salze, Säuren und Basen, die in Wasser und einigen anderen Lösungsmitteln gelöst stets einen im Verhältnis zum Molekulargewicht viel zu hohen osmotischen Druck zeigen, und zwar werden die Abweichungen desto stärker, je verdünnter die Lösungen sind. Nun hat aber Arrhenius gezeigt, daß in diesen Lösungen, die sich sämtlich durch ihr Leitvermögen für Elektrizität auszeichnen, die gelösten Molekeln zum Teil in ihre elektrisch geladenen Bestandteile, die Ionen, zerfallen sind, und daß dieser Zerfall um so weitgehender wird, je verdünnter die Lösung ist. Man wird also die Zahl der Moleküle zu groß, mithin den osmotischen Druck zu hoch finden. Man kann nun nach Arrhenius die Zahl der zerfallenen Moleküle durch Leitfähigkeitsmessungen ermitteln, und die so erhaltenen Zahlen für die molekulare Konzentration der Lösung ergeben Werte für den osmotischen Druck, die mit den gemessenen Werten aufs beste übereinstimmen, sodaß dieser scheinbare Widerspruch gegen die van't Hoffsche Theorie zu einer glänzenden Bestätigung derselben geführt hat (vgl. den Artikel „Lösungen“ S. 456 ff).

Der beste und eigentliche Beweis des van't Hoffschen Satzes ist seine experimentelle Bestätigung durch Messungen sowie die Uebereinstimmung der aus ihm gezogenen Folgerungen mit der Erfahrung. Jedoch ist die Einfachheit des Gesetzes sowie die anschauliche molekulartheoretische Deutung, die das vollständig analoge Gesetz für die idealen Gase erlaubt, die Ursache zu vielfachen Versuchen gewesen, das van't Hoffsche Gesetz theoretisch abzuleiten. Es ist nun unmöglich, dies mit Hilfe der reinen Thermodynamik auszuführen, man braucht dazu vielmehr in jedem Falle Hypothesen molekulartheoretischer Natur. Für gewöhnlich erklärt man dann das Zustandekommen des osmotischen Druckes so, daß die Moleküle des Lösungsmittels durch die semipermeable Wand glatt hindurchgehen und auf sie keinen Druck ausüben, so daß hierfür nur die Stöße der gelösten Moleküle in Betracht kommen. Damit nun aber auf diesem Wege das van't Hoffsche Gesetz resultiert, daß der gelöste Stoff denselben Druck ausübt wie als Gas in demselben Volumen, muß man beweisen, daß sein Druck durch das anwesende Lösungsmittel nicht verändert wird. Für sehr verdünnte Lösungen haben nun tatsächlich Boltzmann und Lorentz gezeigt, daß die vom Lösungsmittel auf die gelösten Moleküle ausgeübten Kräfte sich in toto aufheben. Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß die Verhältnisse hier sehr schwierig und kompliziert liegen, und daß die zahlreichen Versuche, durch molekulartheoretische Spekulationen Abweichungen vom van't Hoffschen Gesetze (z. B. die bessere Gültigkeit der Raoultschen Zählung) zu erklären, zum größten Teile als unzureichend angesehen werden müssen.

6. Bedeutung des osmotischen Druckes für chemische und physikalische Vorgänge

6a) Theorie der Lösungen. Ueber die Bedeutung des osmotischen Druckes für die Theorie der Lösungen, zu deren Grundlage er durch van't Hoff gemacht worden ist, vgl. den Artikel „Lösungen“ S. 448 ff. Hier sei nur kurz folgendes bemerkt. Setzt man in die auf S. 387 u. 388 abgeleiteten Formeln

$$\pi = RT\frac{s}{M}\ln\frac{p}{p'},\ \pi = sl\frac{t}{T_0},\ \pi = sw\frac{t}{T_0}$$

den Wert von π aus dem van't Hoffschen Gesetze gleich RTc ein, so erhält man die Gesetze, welche die Dampfdruckerniedrigung, Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktserniedrigung verdünnter Lösungen aus der Konzentration des gelösten Stoffes zu berechnen gestatten. Es ergibt sich, daß alle diese Größen der Konzentration des gelösten Stoffes proportional sind. Diese Gesetze, welche zum Teil schon vor van't Hoff von Raoult und anderen experimentell gefunden worden waren, gelten jedoch nur für verdünnte Lösungen, da sie die Geltung der Gleichung $\pi = RTc$ zur Voraussetzung haben, und sind dadurch scharf unterschieden von den zur Berechnung von π dienenden Gleichungen (siehe oben), die rein thermodynamisch begründet sind und daher für beliebige Lösungen (unter den auf S. 388 gemachten Beschränkungen) gelten.

6b) Diffusion. Wie wir gesehen haben, ist der osmotische Druck eines gelösten Stoffes als die treibende Kraft der Diffusion anzusehen. Auf Grund dieses Gedankens ergibt sich nun nach Nernst das Ficksche Gesetz ohne weiteres als Folgerung des van't Hoffschen Satzes. Denn es ist hiernach die

Digitized by Google

treibende Kraft dem Gefälle des osmotischen Druckes $\frac{d\pi}{dx}$ proportional. Nun ist aber π proportional c, also auch $\frac{d\pi}{dx}$ proportional $\frac{dc}{dx}$, d. h. die treibende Kraft der Diffusion ist tatsächlich, wie wir auf S. 383 voraussetzten, $\frac{dc}{dx}$ proportional. Von diesem Gesichtspunkt aus erklärt sich auch die langsame Diffusion der Kolloide durch ihr hohes Molekulargewicht und folglich geringen osmotischen Druck. Da wir nun die Größe des osmotischen Druckes kennen und die Geschwindigkeit der Diffusion messen können, so können wir die Größe des der treibenden Kraft entgegenwirkenden Widerstandes, d. h. die Reibung, welche die gelösten Moleküle im Wasser erfahren, berechnen. So ergibt sich z. B. die Kraft, die nötig ist, um 1 g-Molekül gelösten Rohrzucker um 1 cm pro Sekunde in Wasser zu verschieben, zu $6{,}7 . 10^9$ kg bei 9°. Die enorme Größe der Reibung rührt von der durch die feine Verteilung bewirkten Größe der reibenden Oberfläche her, genau so wie eine Suspension sich nur ganz langsam absetzt, dagegen als kompakte Masse von demselben Gewicht schnell zu Boden sinkt. Ist nun der gelöste Stoff ein Ion, so kann man den Reibungswiderstand, den es erfährt, bestimmen, indem man seine Wanderungsgeschwindigkeit unter dem Einflusse einer bekannten Kraft, nämlich eines bekannten Potentialgefälles, bestimmt. Man kann dann mit Hilfe des durch elektrische Messungen erhaltenen Reibungswiderstandes und der aus dem van't Hoffschen Gesetze bekannten treibenden Kraft seinen Diffusionskoeffizienten berechnen, resp. da wir stets ein positives und ein negatives Ion zusammen haben, den Diffusionskoeffizienten eines völlig dissoziierten Elektrolyten. Die so erhaltenen Zahlen stimmen mit den direkt gemessenen befriedigend überein. Da nach dem van't Hoffschen Gesetze der osmotische Druck nicht nur von der Konzentration, sondern auch von der Temperatur abhängt, können wir in einer überall gleich konzentrierten Lösung durch Temperaturdifferenzen Diffusion erzeugen. Diese Erscheinung ist unter dem Namen Ludwig-Soretsches Phänomen bekannt.

6c) Theorie der galvanischen Ketten (vgl. auch die Artikel „Galvanische Ketten" und „Potential"). Die Theorie der galvanischen Ketten ist von Nernst durch die Anwendung der osmotischen Theorie auf Ionen entwickelt worden. Wenn ein in zwei Ionen gespaltener Elektrolyt diffundiert, so wird, falls die Reibungswiderstände für das positive und negative Ion verschieden sind, das eine schneller diffundieren als das andere, so daß die entgegengesetzten Elektrizitäten spurenweise getrennt werden und ein Potentialsprung entsteht. Es wird also dort, wo verschieden konzentrierte Lösungen eines Elektrolyten aneinandergrenzen und Diffusion stattfindet, eine Potentialdifferenz entstehen, deren Größe sich aus den Konzentrationen und den Beweglichkeiten der Ionen, die ihrem Reibungswiderstand umgekehrt proportional sind, berechnen läßt. Prinzipiell genau so, nur etwas verwickelter liegt die Sache bei Lösungen verschiedener Elektrolyte. Uebrigens sind die an der Grenzfläche von zwei Elektrolytlösungen auftretenden Potentialsprünge meist klein im Vergleich zu denen, die bei der Berührung eines Metalles mit einer Lösung entstehen. Nernst hat auch für diesen Fall die Theorie gegeben, indem er von dem Begriff des elektrolytischen Lösungsdruckes (vgl. den Artikel „Lösungen" S. 442) ausging. Er nimmt an, daß jedes Metall bestrebt ist, so lange positiv geladene Ionen in Lösung zu schicken, bis diese an ihnen gesättigt ist, d. h. der osmotische Druck der Ionen gleich der Lösungstension des Metalles ist. Taucht man nun ein Metall in eine Lösung, die seine Ionen enthält, so sind folgende Fälle möglich. Der osmotische Druck der Ionen in der Lösung ist erstens gerade gleich der Lösungstension, so daß Gleichgewicht herrscht und keine Potentialdifferenz entsteht, oder er ist zweitens kleiner als die Lösungstension, so daß Ionen aus dem Metall in Lösung gehen und diese positiv, das Metall aber negativ laden, oder er ist drittens größer als die Lösungstension, so daß sich Ionen aus der Lösung auf dem Metall niederschlagen und es positiv, die Lösung aber negativ laden. In den beiden letzten Fällen geht der Vorgang so lange fort, bis ihn die entstehenden und ihm entgegenwirkenden elektrostatischen Kräfte verhindern. Die resultierende Potentialdifferenz E hängt also von dem Lösungsdruck P und dem osmotischen Druck p der Ionen ab, und es ist nach Nernst: $E = \frac{RT}{n} \ln \frac{P}{p}$, wobei n die Wertigkeit des Ions ist. Schaltet man zwei solche Elektroden 1 und 2 gegeneinander, so besitzt das entstehende Element bei Vernachlässigung des Potentialsprunges zwischen den beiden Lösungen die elektromotorische Kraft:

$$E = \frac{RT}{n_1} \ln \frac{P_1}{p_1} - \frac{RT}{n_2} \ln \frac{P_2}{p_2}$$

und falls das gleiche Metall in zwei verschieden konzentrierte Lösungen seines Ions taucht (Konzentrationskette), so ist

$$E = \frac{RT}{n} \ln \frac{c_2}{c_1},$$

falls die Lösungen verdünnt sind. Näheres siehe im Artikel „Galvanische Ketten".

6d) Bedeutung für die Biologie. Für

Digitized by Google

die Biologie und zwar namentlich für die Pflanzenphysiologie hat der osmotische Druck eine große Bedeutung, da die Zellen von für viele Stoffe halbdurchlässigen Membranen umgeben sind (siehe auch S. 385 und S. 386). Auch historisch sind die Pflanzenphysiologen die ersten gewesen, die sich eingehend mit dem Studium des osmotischen Druckes beschäftigt haben (Pfeffer, de Vries). Der osmotische Druck, der auf die Zellwände wirkt und in Pflanzenzellen meistens mehrere Atmosphären beträgt, verursacht eine Spannung derselben, die sogenannte Turgeszenz. Hierdurch wird den zarten Zellen große mechanische Festigkeit verliehen, genau so wie ein Pneumatik durch den Druck der eingepumpten Luft gestrafft wird. Das Welken der Pflanze ist hauptsächlich ein Nachlassen der Turgeszenz. Auch sind die Zellen imstande, ihren osmotischen Druck zu ändern, z. B. indem sie gewisse Stoffe löslich oder unlöslich machen. Auf so entstehenden Veränderungen der Turgeszenz beruht eine Reihe Bewegungserscheinungen bei den Pflanzen.

Literatur. **W. Nernst,** *Theoretische Chemie. Stuttgart 1909.* — **W. Ostwald,** *Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Leipzig 1890 bis 1904.* — **J. H. van't Hoff,** *Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie. Braunschweig 1901 bis 1903.* — **O. Sackur,** *Lehrbuch der Thermochemie und Thermodynamik. Berlin 1912.* — **M. Le Blanc,** *Lehrbuch der Elektrochemie. Leipzig 1906.* — **W. Pfeffer,** *Pflanzenphysiologie. 1897 und 1901.* — **R. Höber,** *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. Leipzig 1911.* — **A. Winkelmann,** *Handbuch der Physik. Breslau 1891 bis 1896.*

O. Stern.

Otto
Julius.

Geboren am 8. Januar 1809 in Großenhain in Sachsen, gestorben am 12. Januar 1870 zu Braunschweig, ursprünglich Pharmazeut, war seit 1835 Professor der Chemie und Pharmazie am Collegium Carolinum in Braunschweig, der nachmaligen Technischen Hochschule. Besonders bekannt ist er geworden durch seine Lehrbücher: außer dem der landwirtschaftlichen Gewerbe gab er die Elements of chemistry von Thomas Graham zuerst in Uebersetzung, dann in stark erweiterter, gänzlich veränderter Gestalt im Verein mit anderen Fachgenossen heraus (mit Kopp, Buff, Zamminer, Kolbe). Durch seine Anleitung zur Ermittelung der Gifte (zuerst 1850 erschienen) erwarb er sich das Verdienst, dieses wichtige Kapitel zuerst zusammenhängend bearbeitet zu haben. Seine Experimentalarbeiten gehören meist der anorganischen Chemie an.

E. von Meyer.

Otto
Robert.

Sohn von Julius Otto. Er wurde geboren am 18. August 1837 in Braunschweig, und starb daselbst am 14. Februar 1907. Als Professor der allgemeinen Chemie an der Technischen Hochschule hat er die letztgenannten Werke seines Vaters neu und erweitert herausgegeben und besonders der Ausbildung der gerichtlich-chemischen Untersuchungsmethoden seine Aufmerksamkeit zugewandt. Sonst galten seine Forschungen verschiedenen Zweigen der organischen Chemie, die er durch wertvolle Arbeiten, besonders über Benzolderivate (Sulfinsäuren, Sulfone, organische Quecksilberverbindungen, Nitrile u. a. Cyanverbindungen) bereichert hat.

E. von Meyer.

Owen
Sir Richard.

Geboren am 20. Juli 1804 in Lancaster, gestorben am 18. Dezember 1892 in London. Studierte von 1824 bis 1825 Medizin in Edinburg und ging dann nach London, um sich weiter praktisch-medizinisch auszubilden. Nachdem er bald eine Stellung als Assistent am Royal College of Surgeons bekommen hatte, widmete er sich immer mehr vergleichend-anatomischen Studien. 1836 wurde er zum Professor an demselben Colleg und 1849 zum Konservator ernannt. Diese Stellung behielt er bis 1856, als er zum Direktor der naturwissenschaftlichen Abteilung des Britischen Museums ernannt wurde. Sein Verdienst ist es, daß das unvergleichliche Museum of National History als Abzweigung des Britischen Museums in South Kensington gegründet wurde. 1884 zog er sich von seinem Amte zurück und lebte in Richmond Park bis zu seinem Tode.

Owen ist einer der ersten und wirkungsvollsten Vertreter der vergleichenden Anatomie und Zoologie Englands im 19. Jahrhundert gewesen. Seine Arbeiten vergleichend-anatomischen Inhalts erstrecken sich über einen Zeitraum von 50 Jahren und umfassen die gesamten Metazoen. Er war der Entdecker der Trichina spiralis. Seine Cephalopodenstudien führten ihn zu der noch heute gültigen Einteilung im Dibranchiaten und Tetrabranchiaten (1852). Auch der systematisch-anatomisch interessante Limules ist Gegenstand einer Arbeit von ihm gewesen (1873). Weit umfassender noch waren seine Studien an Wirbeltieren. Seine Comparative Anatomy and Physiology of Vertebrates (3 Vols, London 1866 bis 1868), war noch wie die Cuvier'sche vergleichende Anatomie ein Werk, das größtenteils sich auf eigene Untersuchungen aufbaute. Nicht allein die rezenten, sondern auch besonders die fossilen Vertebraten finden in dem Werke eine weitgehende Berücksichtigung.

Er selbst legte sein Schwergewicht weniger nach der klassifikatorischen Seite, wo er mit Verallgemeinerungen wenig Glück hatte, als nach der deskriptiven Zootomie und der vergleichenden Anatomie hin. Er hat auch zum ersten Male die jetzt allgemeine Trennung des alten aristotelischen Begriffes der Homologie

Digitized by Google

in die physiologische Homologie oder Analogie (z. B. Flügel des Vogels und der Fledermaus) und in die morphologische, für die die Bezeichnung Homologie beibehalten wurde (z. B. Spritzloch der Wale und Nase der übrigen Säugetiere), vorgenommen. Owen hat nur in gewisser Richtung einen Fortschritt der Artbildung angenommen, er spricht sich aber immer sehr vorsichtig und zurückhaltend über dieses Problem aus. Die Selektionstheorie dagegen verwarf er grundsätzlich. Ihm bleibt vor allem das Verdienst, die vergleichende Anatomie der präevolutionistischen Periode im größten Stile abgeschlossen und den Ruhm der Sammlung des Natural History Museums als der ersten der Welt dauernd gesichert zu haben.

Seine Hauptwerke sind: Archetype and homologies of vertebrate skeleton, London 1848; British fossil reptilia of the cretaceous period (1851); Comparative Anatomy, invertebrate animals (1855); Crocodilia and Ophidia of the London clay (1859); Description of the extinct gigantic Sloth (1843); Fossil Reptilia of the wealdon (1853 bis 1857); History of the British fossil mammalia and birds (1846) and reptiles (1849); On the classification of Mammalia (1859); Memoir on the Megatherium (1861); Odontography (2. Aufl. 1845, 2 Bde.); On forms of the skeleton and the teeth (1856); Palaeontology (7. Aufl. 1871); Principles of comparative osteology (1855); Anatomy of vertebrates (1866 bis 1868, 3 Bde.); Descriptive and illustrated catalogue of the fossil reptilia of South Africa (1876); On the fossil mammals of Australia and on the extinct marsupials of England (1877, 2 Bde.); Memoirs of extinct wingless birds of New Zealand (1878, 2 Bde.). Ein Teil der gesamten Arbeiten von 1849 bis 1881 erschien gesammelt im History of British fossil reptils (1884, 4 Bde.).

Literatur. ***R. Owen,*** *The life of Richard Owen. Mit einem Essay von* ***Huxley.*** *2 Bde. London 1894.*

W. Harms.

Oxydation.

1. Allgemeines: a) Begriff. b) Rolle der Oxydationsvorgänge in der Natur und im Leben des Menschen. c) Einteilung der Oxydationsvorgänge. 2. Freiwillige Oxydation: a) Einfluß der Temperatur auf die Oxydationsgeschwindigkeit. b) Verbrennungswärme. c) Entzündung. 3. Erzwungene Oxydation: a) Luftverbrennung. b) Elektrolytische Oxydation. 4. Oxydationsmittel. a) Oxydationspotential. b) Oxydationsenergie und Oxydationsgeschwindigkeit. 5. Sauerstoffüberträger. a) Katalytische Wirkung. b) Kontaktwirkung. c) Wirksamkeit von Metallsalzen: α) Spezifischer Charakter der katalytischen Reaktionen. β) Empfindlichkeit der Oxydationsvorgänge gegen Sauerstoffüberträger. γ) Kofermente. δ) Katalytische Wirkung des Wassers. d) Verwendung der Sauerstoffüberträger in der chemischen Technik. e) Sauerstoffüberträger im Organismus. Oxydationsfermente. 6. Autoxydation: a) Theorie der Peroxyde. b) Hälftige Sauerstoffteilung. c) Unterschiede zwischen Autoxydator und Katalysator. 7. Gekoppelte Oxydation.

1. Allgemeines. 1a) Begriff. Der Begriff der Oxydation, der ursprünglich auf die Vorgänge der Vereinigung von gasförmigem Sauerstoff mit anderen Elementen zu Oxyden beschränkt war, hat im Laufe der Zeit eine große Erweiterung erfahren, so daß es schwer fällt, eine allgemeine Definition desselben zu geben. Unter Oxydation im engeren Sinne versteht man chemische Vorgänge, bei welchen Sauerstoff in Reaktion tritt; die hierbei entstehenden Stoffe nennt man Oxydationsprodukte. Die Oxydation kann durch freien Sauerstoff oder aber durch sauerstoffhaltige Verbindungen, welche ihren Sauerstoff leicht teilweise oder ganz an andere Stoffe abgeben und die man als Oxydationsmittel bezeichnet, bewirkt werden. Dieselben erleiden bei Oxydationsvorgängen selbst eine Reduktion, indem ihnen der Sauerstoff entzogen wird.

Das eingehende Studium der chemischen Umsetzungen zwischen ionisierten Verbindungen hat Veranlassung dazu gegeben, den Begriff der Oxydation bei Elektrolyten auch auf Vorgänge auszudehnen, an welchen sich Sauerstoff weder direkt noch indirekt beteiligt. Nach Ostwald besteht das Wesen der Oxydationsvorgänge bei Elektrolyten oder solchen Stoffen, welche Ionen zu liefern vermögen, wie die Metalle oder die Halogene, in der Aufnahme positiver oder Abgabe negativer Ionenladungen. Ob Sauerstoff an dem Vorgange beteiligt ist oder nicht, kommt hierbei gar nicht in Frage. Wenn wir beispielsweise Zink in Kupfersulfat tauchen, so geht das Zink unter Aufnahme von positiven elektrischen Ladungen als Zinkion in Lösung, d. h. das metallische Zink wird zu Zinksalz oxydiert, während gleichzeitig die äquivalente Menge Kupferionen unter Abgabe ihrer positiven elektrischen Ladung zu Kupfer reduziert werden. Ein Oxydationsvorgang ist stets mit einem Reduktionsvorgang verknüpft, da Elektrizitätsmengen nie entstehen oder verschwinden können, ohne daß eine gleiche Menge Elektrizität von entgegengesetztem Vorzeichen mitentsteht oder verschwindet.

b) Rolle der Oxydationsvorgänge in der Natur und im Leben des Menschen. Bei der allgemeinen Verbreitung des Sauerstoffs und der großen Verwandtschaft dieses Elementes zu anderen Stoffen ist die Anzahl der sich in der Natur abspielenden Oxydationsvorgänge eine sehr große. Von denselben seien hier an erster Stelle die Respirations- und die Verbrennungsprozesse hervorgehoben, welche bekanntlich die Grundlage und die Voraussetzung für die Entwickelung des Lebens

Digitized by Google

und der Industrie bilden. Die Atmung ist, wie schon von Lavoisier erkannt worden ist, ihrem Wesen nach die langsame Verbrennung einiger Bestandteile des Organismus durch den Luftsauerstoff zu Kohlensäure und Wasser. Die hierbei frei werdende Energie ist die Quelle der tierischen Wärme und der Muskelkraft.

Eine andere für den Haushalt der Natur sehr wichtige Gruppe von Oxydationsvorgängen bilden die Gärungs- und Verwesungsprozesse, durch welche die Abfallstoffe der organischen Natur abgebaut und schließlich in die letzten Oxydationsprodukte, in Kohlensäure und Wasser, übergeführt werden, die in dieser Form wieder zum Aufbau pflanzlicher Substanz verwendbar sind.

Eine andere Art von Oxydationsprozessen, die rasche Verbrennung der Kohle und anderer Heizmaterialien durch den Luftsauerstoff ist durch die enormen Energiemengen, welche bei diesem Vorgange freiwerden, für den Haushalt des Menschen, für Gewerbe und Industrie von fundamentalster Bedeutung und bildet bekanntlich die Hauptquelle der von uns benötigten Mengen an Wärme, Licht, mechanischer Energie und Elektrizität. Auf dem Umwege über Feuerung — Dampfkessel — Dampfmaschine bezw. über Generatorgas- oder Leuchtgasmotor geht der größte Teil, von 60 bis 80% der in der Kohle und dem Sauerstoff schlummernden chemischen und bei der Verbrennung frei werdenden Energie nutzlos verloren, und zwar sind diese Verluste nahezu unvermeidlich, da sie zum größten Teil mit dem zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie im Zusammenhange stehen, nach welchem nur ein bestimmter Bruchteil der Wärme in mechanische Energie verwandelbar ist. Eine der wichtigsten Aufgaben der technischen Elektrochemie ist die Konstruktion eines galvanischen Elements, in welchem Kohle oder Generatorgas an der Anode unter Bildung von Kohlensäure verbraucht wird, wobei die bei der Verbrennung der Kohle oder des Generatorgases frei werdende Energie unmittelbar in elektrische Energie verwandelt wird, wie das etwa im Leclanché- oder Bunsenelement bei der Oxydation des Zinks der Fall ist. Das Problem ist von wissenschaftlicher und technischer Seite mehrfach in Angriff genommen worden, bisher jedoch ohne bemerkenswerte Erfolge. Haber und Moser ist es allerdings gelungen, ein galvanisches Brennstoffelement aufzubauen, in welchem die gesamte bei der Oxydation des Kohlenoxydes oder Generatorgases durch Luftsauerstoff freiwerdende Energie in elektrische verwandelt wird, dasselbe kann jedoch nur theoretisches Interesse beanspruchen. Der praktischen Lösung der Aufgabe stehen noch große Hindernisse teils prinzipieller, teils konstruktiver Natur, welche hier nicht näher erörtert werden können, im Wege.

1c) Einteilung der Oxydationsvorgänge. Wie bei allen chemischen Reaktionen unterscheiden wir auch bei den Oxydationsprozessen freiwillige, von selbst unter Energieabgabe verlaufende von erzwungenen, die sich nur bei dauernder Zufuhr von äußerer Energie vollziehen können. Wir wollen im folgenden diese zwei Gruppen von Oxydationsvorgängen etwas näher kennen lernen und hierbei hauptsächlich die Einwirkung von elementarem Sauerstoff auf oxydable Stoffe eingehender behandeln, da diese Art von Oxydationsprozessen zufolge ihres häufigen Vorkommens und ihrer wichtigen Rolle in der Natur ein besonderes Interesse beanspruchen

2. Freiwillige Oxydation. 2a) Einfluß der Temperatur auf die Oxydationsgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich Oxydationsvorgänge abspielen, hängt vor allem von der Natur des oxydablen Stoffes und von der Temperatur ab (über die Beschleunigung der Oxydation durch Sauerstoffüberträger siehe weiter unten). Manche Stoffe, wie Stickoxyd, Pyrogallol in alkalischer Lösung, die Lösungen der Cuproverbindungen und andere, vereinigen sich schon bei Zimmertemperatur sehr rasch mit dem Luftsauerstoff. Langsamer erfolgt die Oxydation der schwefligen Säure, des Jodwasserstoffs, der unedlen Metalle (Rosten des Eisens), vieler organischer Verbindungen, wie etwa der ungesättigten Fettsäuren, der trocknenden Oele, der Aldehyde, Terpene, mancher Alkohole und Phenole. Auch die Verwesungs- und Gärungserscheinungen sind zu den langsamen Oxydationen zu rechnen.

Wie alle chemischen Vorgänge werden auch die Oxydationsprozesse durch Erhöhung der Temperatur stark beschleunigt. In welchem Maße das der Fall ist, wollen wir uns an folgendem Beispiele veranschaulichen. Ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff liefert nach Versuchen von Berthelot trotz der großen Verwandtschaft der beiden Gase zueinander, welche in der bei ihrer Vereinigung frei werdenden Energiemenge ihren Ausdruck findet, bei gewöhnlicher Temperatur selbst nach mehreren Jahren keine merklichen Mengen Wasser. Bei höherer Temperatur geht die Vereinigung der Gase sehr rasch vor sich, bei Temperaturen über 600° momentan unter Explosion. Nach Versuchen von v. Meyer und Askenasy vereinigen sich bei 518°

Digitized by Google

in Glaskugeln in einer halben Stunde ca. 60 % des angewandten Wasserstoffs und Sauerstoffs zu Wasser. Nehmen wir nun auf Grund der von van't Hoff aufgestellten und durch die Erfahrung bestätigten Regel, nach welcher die Geschwindigkeit eines chemischen Vorgangs bei der Erhöhung der Temperatur um je 10° um das 2- bis 3fache zunimmt, an, daß sich die Geschwindigkeit der Wasserbildung bei einer Temperaturerhöhung um 10° verdoppelt, so wird bei einer Aenderung der Temperatur um 100° die Zeit, in der sich die gleiche Menge, d. h. 60 % des angewandten Knallgases zu Wasser vereinigt, um das 2^{10}-, d. h. um rund das Tausendfache zu- oder abnehmen und wir erhalten für die Zeiten, welche bei den in folgender Tabelle angeführten Temperaturen zur Bildung der gleichen Menge Wasser erforderlich sind, folgende Werte:

218° C	230000	Jahre
318° C	230	Jahre
418° C	81	Tage
518° C	2	Stunden
618° C	7	Sekunden
718° C	0,007	Sekunden

Brennbare Stoffe vereinigen sich also im allgemeinen bei allen Temperaturen mit Sauerstoff, bei niedrigen Temperaturen häufig mit unmerklicher Geschwindigkeit. Phosphor, Natrium und Kalium werden bei tiefen Temperaturen (—180°) nach Versuchen von Dewar von Sauerstoff nicht angegriffen; die Oberfläche der beiden Metalle bleibt glänzend, der Phosphor verliert hierbei die Fähigkeit bei Gegenwart von Sauerstoff zu leuchten. Kohle, die sich bei hohen Temperaturen bekanntlich unter Feuererscheinungen sehr rasch mit dem Luftsauerstoff vereinigt, verbrennt nach Versuchen von Moissan bei 100° langsam, jedoch mit meßbarer Geschwindigkeit; bei gewöhnlicher Temperatur kann sie jahrelang gelagert werden, ohne daß eine Gewichtsabnahme nachzuweisen wäre (über die Selbstentzündung der Kohle siehe weiter unten).

Die geringe Geschwindigkeit, mit der manche brennbare Stoffe, wie Kohle, Schwefel, die meisten organischen Verbindungen bei gewöhnlicher Temperatur oxydiert werden, ist die Bedingung dafür, daß dieselben bei Gegenwart von Luft jahre- und selbst jahrhundertelang bestehen können.

2b) Verbrennungswärme. Die freiwillige Oxydation geht in der Regel unter Entwicklung von Wärme vor sich. Die hierbei frei werdende und auf die Gewichtseinheit bezogene Wärmemenge ist für jeden Stoff eine konstante Größe, welche von der Art und Weise, in welcher sich der Vorgang abspielt, unabhängig ist. Man bezeichnet dieselbe als Verbrennungswärme. In folgender Tabelle sind die Verbrennungswärmen der wichtigsten Stoffe angeführt; dieselben beziehen sich auf 1 g des oxydablen Stoffes und sind in Kalorien ausgedrückt:[1])

Wasserstoff zu Wasser	34 500
Kohlenstoff zu Kohlensäure	8 000
Kohlenoxyd zu Kohlensäure	2 300
Schwefel zu Schwefeldioxyd	1 100
Eisen zu Eisenoxyduloxyd	1 200
Zink zu Zinkoxyd	1 050
Totale Verbrennung von	
Rinderfett	9 700
Butter	9 100
Kasein	5 850
Eieralbumin	5 600
Stärke	4 480
Rohrzucker	4 170

Von den Nahrungsmitteln besitzen, wie die Tabelle zeigt, die Fette die größte Oxydationswärme. Verläuft die Oxydation sehr langsam, wie etwa beim Rosten des Eisens, so wird die hierbei entwickelte Wärmemenge vollständig an die Umgebung abgeführt und entzieht sich damit unserer unmittelbaren Wahrnehmung.

Die Erwärmung eines in Oxydation befindlichen Systems über die Temperatur der Umgebung wird erst eintreten, wenn die pro Zeiteinheit durch Oxydation entwickelte Wärmemenge größer ist, als die durch Leitung und Strahlung dem System entzogene. Das ist beispielsweise bei einer in Gärung befindlichen Flüssigkeit der Fall, welche meist eine um mehrere Grade höhere Temperatur hat, als die Umgebung. Düngerhaufen erhitzen sich bisweilen sehr stark infolge der energischen Oxydation der organischen Stoffe.

2c) Entzündung. Ist die in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge sehr groß, so werden die Oxydationsprodukte bis zur Rotglut oder Weißglut erhitzt. Eine unter großer Wärme- und Lichtentwickelung verlaufende Oxydation nennt man Verbrennung. Um eine Verbrennung einzuleiten, muß der brennbare Stoff in der Regel an einer Stelle bis auf eine bestimmte Temperatur, die Entzündungstemperatur, erhitzt werden, bei der die Oxydation an derselben so rasch erfolgt, daß durch die

[1]) Eine Kalorie ist diejenige Wärmemasse, welche erforderlich ist, um 1 g Wasser um 1° Celsius zu erwärmen. Bei einheitlichen, chemisch reinen Stoffen wird die Verbrennungswärme meist auf ein Mol (Grammolekül) bezogen.

Digitized by Google

hierbei entwickelte Wärme, ehe dieselbe durch Leitung und Strahlung zerstreut wird, die benachbarten Schichten der reagierenden Stoffe auf eine Temperatur gebracht werden, welche zu einer raschen Oxydation erforderlich ist. Die Entzündungstemperatur hängt vor allem von der Natur und der Beschaffenheit der brennbaren Stoffe ab. Steinkohle entzündet sich bei ca. 1000°, Wasserstoff bei 650° (vgl. Tabelle oben), Schwefelkohlenstoff bei 230°. Phosphor fängt an zu brennen, wenn man ihn mit einem auf ca. 60° erwärmten Glasstabe berührt. Manche Stoffe wie Phosphorwasserstoff, Zinkäthyl, entzünden sich schon bei gewöhnlicher Temperatur. Eisen in fein verteiltem Zustande, wie man es z. B. durch Reduktion von Eisenoxyd mittels Wasserstoff in der Glühhitze erhält, verbrennt unter Glüherscheinungen, sobald man es bei Zimmertemperatur mit Luft in Berührung bringt. Es sei endlich erwähnt, daß auch Kohle unter Umständen sich von selbst entzünden kann, wenn beim Lagern großer Mengen derselben im Inneren der Masse zufolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Kohle die geringen Wärmemengen, die an einer Stelle bei der langsamen Einwirkung des Luftsauerstoffs frei werden, ausreichen, um die Temperatur und damit die Oxydationsgeschwindigkeit progressiv so weit zu steigern, bis die Kohle in Brand gerät.

Die bei der Verbrennung frei werdende Wärmemenge und die Wärmekapazität der Oxydationsprodukte bedingt die Verbrennungstemperatur. Dieselbe liegt bei entzündbaren Stoffen, wie aus dem Gesagten folgt, stets höher als die Entzündungstemperatur. Beim Knallgas beträgt sie beispielsweise ca. 2000°, während die Entzündungstemperatur bei ca. 650° liegt. Mischt man nun dem Knallgase fremde Gase bei, wie etwa Wasserstoff oder Kohlensäure, so setzt man dadurch die Verbrennungstemperatur herab, da durch die bei der Oxydation entbundene Wärme außer dem Verbrennungsprodukt, dem Wasserdampf, auch die fremden Gase mit erhitzt werden müssen, die Wärme sich also auf eine größere Stoffmenge verteilt. Daher kommt es, daß ein Gemisch von 1 Volumen Knallgas mit 2,9 Volumina Kohlendioxyd beim Durchschlagen von elektrischen Funken sich nicht entzündet und das Knallgas hierbei nur in unmittelbarer Nähe des Funkens verbrennt, während ein Gemisch von 1 Volumen Knallgas mit 2,8 Volumina Kohlensäure noch entzündbar ist. Aus dem gleichen Grunde verbrennt ein glühender Eisen- oder Aluminiumdraht in reinem Sauerstoff, erlischt dagegen an der Luft.

Durch rasche Entziehung der bei der Verbrennung frei werdenden Wärme kann die Temperatur des brennenden Körpers unter die Enzündungstemperatur gebracht werden. So erlischt eine glühende Kohle, wenn man sie auf eine die Wärme gut leitende Metallplatte legt, eine Kerzenflamme, wenn sie mit einer Kupferdrahtspirale umgeben wird. Auf einer ähnlichen Erscheinung beruht das Prinzip der Konstruktion der Davyschen Sicherheitslampe.

3. Erzwungene Oxydation. Oxydationsvorgänge, die sich nur bei dauernder Zufuhr von Energie in Form von Wärme, Druck, Licht oder Elektrizität vollziehen können, führen in der Regel zur Bildung von sauerstoffhaltigen Produkten, die reicher an Energie sind, als das zu oxydierende Ausgangsmaterial, und die Eigenschaften von energischen Oxydationsmitteln besitzen. So wird beispielsweise Bariumoxyd bei ca. 500° von gasförmigem Sauerstoff bei Anwendung eines ausreichenden Druckes zu Bariumsuperoxyd oxydiert. Daß hier der Fall eines durch Zufuhr von äußerer Energie erzwungenen Prozesses vorliegt, ist daran zu erkennen, daß bei der gleichen Temperatur jedoch etwas vermindertem Drucke das Superoxyd freiwillig den aufgenommenen Sauerstoff unter Rückbildung von Bariumoxyd wieder abgibt.

Auf dieser Eigenschaft des Bariumoxyds beruht ein Verfahren der technischen Darstellung von Sauerstoff aus Luft, nach welchem eine gegebene Menge Bariumoxyd bei entsprechenden Temperatur- und Druckverhältnissen beliebige Mengen Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und denselben in reinem Zustande wieder abzugeben imstande ist.

Bei Zimmertemperatur ist Bariumsuperoxyd scheinbar beständig, da die Geschwindigkeit des Zerfalls in Bariumoxyd und Sauerstoff bei dieser Temperatur nur äußerst gering ist.

3a) Luftverbrennung. Einen anderen Fall dieser Art haben wir in der Oxydation von Stickstoff zu Stickoxyd nach der Gleichung: $N_2+O_2 \rightarrow 2NO$, welche eintritt, wenn man, wie schon von Cavendish Ende des 18. Jahrhunderts beobachtet worden ist, elektrische Funken durch Luft schlagen läßt. In großem Umfange vollzieht sich diese Reaktion, wenn man den elektrischen Hochspannungsbogen auf Luft einwirken läßt, wobei eine Temperatur von 3000 bis 4000° erzeugt wird. Beim Abkühlen zerfällt das gebildete Stickoxyd freiwillig unter Wärmeabgabe wieder in seine Komponenten. Unterhalb 1000° ist nach Versuchen von Nernst und Jellineck die Zerfallsgeschwindigkeit sehr gering. Bei einer plötzlichen Abkühlung des Reaktionsgemisches gelingt es daher, das bei hoher Temperatur erzeugte Stickoxyd „abzuschrecken“, d. h. in einen Temperaturbereich überzuführen, in dem es

Digitized by Google

scheinbar beständig ist und beliebige Zeit ohne sichtbare Veränderung erhalten oder aber in andere sauerstoffhaltige Stickstoffverbindungen, wie Salpeter oder Salpetersäure, übergeführt werden kann.

Die Oxydation des Luftstickstoffs in der Hochspannungsflamme hat schon gegenwärtig eine große technische Bedeutung erlangt und wird in nächster Zeit, sobald die Salpeterlager in Chile erschöpft sein werden, was in einigen Jahrzehnten zu erwarten ist, die Hauptquelle des für die chemische Industrie (Farbstoffe, Sprengstoffe) und insbesondere für die Landwirtschaft als Düngemittel so wichtigen gebundenen Stickstoffs sein.

3b) Elektrolytische Oxydation. Ein bequemes und häufig angewandtes Mittel um energische Oxydationswirkungen zu erzielen, besitzen wir in der Elektrolyse. Elektrolysieren wir die wässerige Lösung eines anorganischen Salzes, eines Alkalis oder einer Säure unter Verwendung von unangreifbaren Anoden, wie etwa Platin, Gold oder Graphit, so wird an der Anode gasförmiger Sauerstoff entwickelt. Bei Gegenwart oxydabler Stoffe wird der Sauerstoff im Entstehungszustand teilweise oder ganz zur Oxydation verbraucht. Eine primäre Sauerstoffentwickelung an der Anode ist für das Zustandekommen einer elektrolytischen Oxydation nicht unbedingt erforderlich. In manchen Fällen, wie etwa bei der Oxydation von Ferrosalz zu Ferrisalz wird der anodische Vorgang unmittelbar auf die Aufnahme einer positiven Ladung durch das Ferroion zurückzuführen sein (vgl. Abschnitt 1 dieses Artikels). Den gleichen Fall haben wir bei der Elektrolyse mit angreifbaren Anoden, wie Zink oder Kupfer, an welchen der anodische Vorgang in dem Uebergang des Metalls in den Ionenzustand besteht.

Durch anodische Oxydation lassen sich unter Umständen sehr energische Oxydationswirkungen erzielen. Einige Oxydationsprozesse wie die Darstellung von Persulfat aus Sulfat oder Percarbonat aus Carbonat lassen sich nur auf elektrolytischem Wege durchführen.

Der Verlauf der elektrischen Oxydation hängt in erster Linie von der Wahl der Stromstärke bezw. Stromdichte, dem Anodenpotential, dem Material und der Beschaffenheit der Anode und der Zusammensetzung des Elektrolyten ab. Ist der oxydable Stoff ein Elektrolyt, so genügt es meist, die wässerige Lösung desselben der anodischen Wirkung des Stromes auszusetzen. Manganat wird so zu Permanganat, Nitrit zu Nitrat, Ammoniumsulfat zu Ammoniumpersulfat oxydiert. Stoffe, die nicht ionisiert sind, wie die meisten organischen Verbindungen, müssen zum Zwecke der elektrolytischen Oxydation in einem passenden Elektrolyten aufgelöst werden. Methylalkohol läßt sich so in wässeriger Schwefelsäure an einer Platinanode leicht zu Formaldehyd oxydieren.

4. **Oxydationsmittel.** Ein Oxydationsmittel ist dadurch charakterisiert, daß es Sauerstoff abzuspalten vermag. In einzelnen Fällen, z. B. beim Wasserstoffsuperoxyd oder Hypochlorit, steigert sich häufig diese Fähigkeit bis zur sichtbaren Sauerstoffentwickelung. Die meisten Oxydationsmittel sind dagegen bei gewöhnlicher Temperatur beständig, in manchen Fällen allerdings nur scheinbar zufolge der äußerst geringen Geschwindigkeit, mit welcher der Sauerstoff abgeschieden wird. Das ist beispielsweise, wie schon oben erwähnt (s. S. 395), beim Bariumsuperoxyd der Fall. Uebermangansäure kann bei Gegenwart von Schwefelsäure sehr lange ohne Zersetzung aufbewahrt werden, zerfällt aber sehr rasch unter Entwickelung von Sauerstoff, wenn man die Lösung mit Platinschwarz schüttelt.

4a) Oxydationspotential. Die oxydierende Kraft eines Oxydationsmittels wird offenbar um so größer sein, je größer der Druck ist, mit welchem sich der Sauerstoff aus demselben abscheiden kann. Dieser Druck läßt sich am einfachsten ermitteln, wenn man ein Platinblech in die wässerige Lösung des Oxydationsmittels taucht und das elektrische Potential mißt, welches dasselbe durch die Beladung mit Sauerstoff angenommen hat. Verwendet man hierbei als Vergleichselektrode eine in verdünnte Schwefelsäure tauchende und von Wasserstoffgas umspülte Platinelektrode, so erhält man die Kette $Pt\,H_2|H_2SO_4|$Oxydationsmittel$|Pt$, d. h. eine Knallgaskette, in welcher der Sauerstoff durch ein Oxydationsmittel ersetzt ist, oder ein Bunsenelement, welches im Anodenraum Wasserstoff an Stelle von Zink enthält, während der Kathodenraum Salpetersäure, Bichromat oder ein beliebiges anderes Oxydationsmittel enthält. Beim Stromschluß liefert das Element elektrische Energie auf Kosten der Energie, welche bei der Oxydation des Wasserstoffs durch das angewandte Oxydationsmittel frei wird. Die Elektrodenspannung dieses Elementes, welche der Oxydationsenergie proportional ist, ist ein Maß für die oxydierende Kraft des Oxydationsmittels und wird als Oxydationspotential bezeichnet. Die Oxydationspotentiale der verschiedensten Stoffe sind von Bancroft, Peters, Schaum, Luther, Fredenhagen und vielen anderen Forschern experimentell bestimmt worden. In der folgenden Tabelle sind die auf die Wasserstoffnormalelektrode bezogenen und in Volt ausgedrückten Werte für die Oxydations-

Digitized by Google

potentiale der gebräuchlichsten Oxydationsmittel angegeben. Zum Vergleich ist auch der Wert für freies Sauerstoffgas[1]) bei Atmosphärendruck angeführt:

$H_2 \| H_2SO_4$	0	$H_2Cr_2O_7 \| H_2SO_4$	1,15
$K_3Fe(CN)_6$ alkal.	0,63	HNO_3 95%	1,16
$J_2 \| KJ$	0,64	$Br \| KOH$	1,18
HNO_2	0,70	$H_2CNO_4H_2SO_4$	1,19
$K_3Fe(CN)_6$ sauer	0,77	$O_2 \| H_2SO_4$	1,21
$K_2Cr_2O_7$ neutr.	0,81	KJO_3	1,24
KNO_2	0,89	$KClO_3$	1,38
KNO_3 6%	0,98	$Cl_2 \| KCl$	1,42
$FeCl_3$	0,99	$K_2S_2O_8$	1,49
$HClO_4$	1,02	$KMnO_4 \| H_2SO_4$	1,51
HNO_3 35%	1,09	$0,5HClO \| H_2SO_4$	1,59

Entsprechend der Verschiedenheit der Potentiale mancher Substanzen in saurer und alkalischer Lösung beobachtet man erhebliche Unterschiede in der Wirkung desselben Oxydationsmittels in saurer oder alkalischer Lösung. Kaliumchromat wirkt beispielsweise in neutraler oder alkalischer Lösung auf Jodkalium nicht ein, bei Zusatz von Säure tritt dagegen sofort Oxydation ein, indem elementares Jod ausgeschieden wird.

Von den in der Tabelle angeführten Oxydationsmitteln besitzen, wie aus derselben zu ersehen ist, nur Jodat, Chlorat, Chlor, Persulfat, Hypochlorit und Permanganat ein höheres Oxydationspotential als freier Sauerstoff. Auch Ozon und Wasserstoffsuperoxyd, deren Oxydationspotentiale experimentell nicht bestimmbar sind, haben offenbar eine höhere oxydierende Kraft, als elementarer Sauerstoff, da sie freiwillig unter Abscheidung von Sauerstoff zerfallen.

4b) Oxydationsenergie und Oxydationsgeschwindigkeit. Je höher das Oxydationspotential eines Oxydationsmittels ist, desto energischere Oxydationswirkungen werden bei Anwendung desselben im allgemeinen zu erwarten sein. Ob aber tatsächlich eine raschere Oxydation eintreten wird, ist nicht vorauszusehen, so lange uns über die Geschwindigkeitsverhältnisse nichts bekannt ist. Der Verlauf einer Oxydation wird nämlich, wie der eines jeden Naturvorganges, nicht allein durch den Wert der treibenden Kraft, in unserem Falle des Oxydationspotentials, bestimmt. Eine ausschlaggebende Rolle spielen daneben die den Ablauf des Vorganges hemmenden, meist schwer zu definierenden und berechenbaren, Widerstände, von welchen die Geschwindigkeit des Vorganges abhängt. Freier Sauerstoff reagiert beispielsweise bei gewöhnlicher Temperatur mit Pyrogallol in alkalischer Lösung unvergleichlich viel rascher als mit Wasserstoff, obwohl die treibende Kraft der ersten Reaktion viel geringer ist, als die der zweiten, da bei der Oxydation des Pyrogallols erheblich weniger Energie frei wird, als bei der Wasserbildung. Die Oxydationsgeschwindigkeit ist von Fall zu Fall verschieden und kann bei einem Oxydationsmittel mit vergleichsweise tiefem Oxydationspotential, insbesondere bei Gegenwart eines passenden Katalysators (s. weiter unten), erheblich größer sein, als bei Anwendung eines Stoffes mit höherer oxydierender Kraft. So wird z. B. Jodwasserstoff in wässeriger Lösung von Kaliumnitrit oder Eisenchlorid viel rascher oxydiert, als von freiem Sauerstoff, dessen Oxydationspotential, wie die Tabelle zeigt, viel höher ist. Durch Salpetersäure oder Bichromat lassen sich häufig viel raschere und heftigere Oxydationswirkungen erzielen, als durch Permanganat oder Hypochlorit, obwohl das Oxydationspotential der letzteren viel höher liegt, als dasjenige von Bichromat oder Salpetersäure.

5. **Sauerstoffüberträger.** Viele Stoffe, die bei gewöhnlicher Temperatur scheinbar überhaupt nicht oder nur äußerst langsam oxydiert werden, erleiden bei Gegenwart einiger Stoffe, der sogenannten Sauerstoffüberträger, eine schnelle Oxydation. So vereinigen sich beispielsweise, wie schon Döbereiner und Schönlein beobachtet haben, Wasserstoff oder Weingeist bei Gegenwart von schwammigem Platin (wie es nach dem Glühen von Ammonium-Platinchlorid zurückbleibt) schon bei gewöhnlicher Temperatur rasch mit dem Luftsauerstoff; die Oxydation verläuft hierbei meist so energisch, daß Selbstentzündung eintritt. Auf der erwähnten Erscheinung beruht bekanntlich die Konstruktion des Döbereinerschen Feuerzeugs. Einen anderen Fall dieser Art haben wir bei der Oxydation der schwefeligen Säure bei Gegenwart von Wasserdampf durch den Luftsauerstoff zu Schwefelsäure, welche bei 40 bis 50° äußerst langsam, nach Zusatz geringer Mengen von Stickoxyden dagegen sehr rasch verläuft (Bleikammerprozeß).

5a) Katalytische Wirkung der Sauerstoffüberträger. Wir haben es hier augenscheinlich mit Spezialfällen von Vorgängen zu tun, welche man als Katalyse bezeichnet und deren Wesen darin besteht, daß eine langsame, aber freiwillig verlaufende Reaktion durch die Gegenwart eines fremden Stoffes, der bei der Reaktion nicht verbraucht wird, des Katalysators, eine Beschleunigung erfährt, und daß eine geringe

[1]) Das Sauerstoffpotential ist aus Gründen, die hier nicht erörtert werden können, experimentell nicht genau zu bestimmen. Der in der Tabelle angeführte Wert ist von Haber aus thermischen Daten berechnet worden, s. Haber, Thermodynamik technischer Gasreaktionen, München 1905, S. 160.

Digitized by Google

Menge des Katalysators ausreicht, um die Umsetzung beliebiger Mengen der reagierenden Stoffe zu ermöglichen.

Die Ursache der Beschleunigung ist in den durch die Einwirkung des Katalysators auf die reagierenden Stoffe hervorgerufenen Zwischenreaktionen zu suchen, die rascher erfolgen, als die direkte Reaktion, und unter fortwährender Rückbildung des Katalysators zum Endprodukte führen. Die oben erwähnte Beschleunigung der Schwefelsäurebildung durch Stickoxyde wird beispielsweise leicht verständlich, wenn man weiß, daß Sauerstoff schon bei gewöhnlicher Temperatur Stickoxyd momentan zu Stickstoffdioxyd oxydiert, welches wiederum rasch von schwefeliger Säure und Wasser unter Schwefelsäurebildung zu Stickoxyd reduziert wird.

Ohne hier näher auf die Bildung anderer Zwischenprodukte einzugehen, wird man die Vorgänge schematisch folgendermaßen wiedergeben können:

$$SO_2 + H_2O + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2SO_4 \quad \Big\} \text{ langsame Reaktion,}$$

$$\left.\begin{array}{r} NO + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_2 \\ SO_2 + H_2O + NO_2 \rightarrow H_2SO_4 + NO \end{array}\right\} \text{ rasche Reaktion,}$$

Versuche von Engler und Wöhler haben es wahrscheinlich gemacht, daß auch die Sauerstoffübertragung durch Platinschwamm auf der abwechselnden Oxydation und Reduktion des hierbei entstehenden Oxyds zurückzuführen ist.

5b) Kontaktwirkung. Platinschwamm kann jedoch auch in einer anderen Weise eine beschleunigende Wirkung auf Gasreaktionen ausüben, welche man im Unterschiede zu der katalytischen, auf Zwischenreaktionen beruhenden Wirkung als Kontaktwirkung bezeichnet. Derselbe hat bekanntlich die Fähigkeit, an seiner Oberfläche große Mengen Gase zu verdichten; 1 Volumen Platinschwamm adsorbiert bei Atmosphärendruck mehrere hundert Volumina Sauerstoff. Nach dem Massenwirkungsgesetz wird nun eine jede Reaktion durch Erhöhung der Konzentration der reagierenden Stoffe wesentlich beschleunigt. In welchem Maße das der Fall sein kann, ist z. B. aus Versuchen von Berthélot und Péan de St. Gilles zu ersehen, nach welchen die Esterbildung aus Alkohol und Säure in flüssigem (also konzentriertem) Zustande etwa 1000 mal rascher erfolgte, als bei der gleichen Temperatur in Dampfform.

5c) Wirksamkeit von Metallsalzen. Nach der Theorie der Zwischenreaktionen sind zur Sauerstoffübertragung vornehmlich solche Stoffe geeignet, welche zu einer abwechselnden Oxydation und Reduktion befähigt sind. Das sind Stoffe mit mehreren Oxydationsstufen, wie Eisen-, Chrom-, Mangan-, Kupfer-, Vanadin-, Titan-, Cer-, Molybdän- und Wolframsalze, welche, wie die Erfahrung lehrt, als Katalysatoren für Oxydationsreaktionen äußerst wirksam sind.

α) Spezifischer Charakter der Katalytischen Reaktionen. Welcher von den angeführten Sauerstoffüberträgern für den einen oder den anderen Zweck zu wählen ist, welcher von ihnen einen Oxydationsvorgang stärker oder schwächer beschleunigen wird, läßt sich nicht voraussagen, da das von Fall zu Fall verschieden ist und keine Regeln über den Zusammenhang zwischen der Natur des Sauerstoffüberträgers und der Natur der reagierenden Stoffe bekannt sind. Die katalytischen Reaktionen haben im allgemeinen einen spezifischen Charakter, d. h. sie können in der Regel nur durch einen oder einige bestimmte, jeder Reaktion eigene, Katalysatoren ausgelöst werden. So wird z. B. durch Wolframsäure die Oxydation des Jodwasserstoffs mit Wasserstoffsuperoxyd wohl enorm beschleunigt, nicht aber die Oxydation desselben durch Persulfat.

Durch geringe Mengen von Eisen- oder von Mangansalzen können viele Oxydationsvorgänge ausgelöst und beschleunigt werden, was sehr bemerkenswert ist, da diese Verbindungen zu den Bestandteilen der in den Lebewesen vorhandenen Fermente sowie des Hämoglobins gehören und danach die wichtige Rolle verständlich wäre, die ihnen als Sauerstoffüberträgern für die sich im Organismus abspielenden Oxydationsvorgänge zukommt.

β) Empfindlichkeit der Oxydationsvorgänge gegen Sauerstoffüberträger. Wie gering die Menge der Sauerstoffüberträger zu sein braucht, um eine große Wirkung ausüben zu können, ist aus folgendem Beispiel zu ersehen. Während bei Abwesenheit von Ferroverbindungen das Wasserstoffsuperoxyd in wässeriger Lösung den Traubenzucker und den Rohrzucker gar nicht angreift, bewirkt ein Zusatz von $^1/_{10000}$ des Gewichtes der Flüssigkeit an Ferrosalz eine stürmische Oxydation unter heftiger Wärmeentwickelung. Als weiteres Beispiel dafür, wie empfindlich ein Oxydationsvorgang gegen Spuren fremder Salze sein kann, seien Versuche von Titoff angeführt, nach welchen eine bestimmte Menge Sulfit in peinlichst gereinigtem und destilliertem Wasser in 27 Stunden oxydiert wurde, während die Oxydation der gleichen Menge Sulfit in gewöhnlichem destilliertem Wasser unter sonst gleichen Versuchsbedingungen schon in 16 Minuten erfolgte. Weitere Versuche zeigten, daß der Zusatz von einem Tausendmillionstel Molargewicht Kupfersulfat zu 1 l in reinstem

Digitized by Google

Wasser gelösten Sulfits, d. h. 1 g metallischen Kupfers pro 16 000 000 l oder 16 000 tons genügte, um die Oxydationsgeschwindigkeit um 30 % zu steigern.

γ) Kofermente. Durch gemeinsame Wirkung von zwei Katalysatoren lassen sich bisweilen stärkere Wirkungen erzielen als durch jeden für sich. Man spricht in diesem Falle von einer kofermentativen Wirkung, da sich ähnliche Erscheinungen besonders häufig bei organischen Fermenten beobachten lassen. Nach Versuchen von Price wird die Oxydation des Jodwasserstoffs durch Kaliumpersulfat bei gleichzeitiger Anwesenheit von Ferrosulfat und Kupfersulfat weit stärker beschleunigt als durch jedes Salz allein.

δ) Katalytische Wirkung des Wassers. Bemerkenswert ist, daß für das Zustandekommen der meisten Oxydationsvorgänge die Gegenwart geringer Mengen von Wasserdampf erforderlich. ist Dixon hat beobachtet, daß eine vollkommen trockene Mischung von Kohlenoxyd mit Sauerstoff weder durch eine rotglühende Spirale noch durch Induktionsfunken zur Explosion gebracht wird. Erst durch Zusatz minimaler Mengen Wasserdampf wird das Gasgemisch explosibel. Baker wies nach, daß trockenes Stickoxyd mit trockenem Sauerstoff nicht reagiert, während bei Gegenwart von Spuren von Feuchtigkeit die Reaktion sehr stürmisch verläuft. M. Traube zeigte, daß in trockener Luft sich Zink, Blei und Eisen nicht oxydieren, und daß eine Kohlenoxydflamme in trockener Luft erlischt.

Eine einwandfreie Erklärung für die katalytischen Wirkungen des Wassers kann zurzeit noch nicht gegeben werden. Möglicherweise ist die Beschleunigung auf die intermediäre Bildung von Wasserstoffsuperoxyd zurückzuführen. Danach müßte sich das Gleichgewicht

$$2H_2O + O_2 \rightarrow 2H_2O_2$$

momentan einstellen und das hierbei entstehende Superoxyd rascher auf den oxydablen Stoff einwirken, als es elementarer Sauerstoff bei der betreffenden Temperatur tut.

5d) Verwendung der Sauerstoffüberträger in der chemischen Technik. Die Sauerstoffüberträger spielen in der chemischen Technik eine bedeutende Rolle. Die gesamte von der Industrie benötigte Schwefelsäure wird durch Vermittelung von Sauerstoffüberträgern dargestellt, und zwar nach dem schon erwähnten Bleikammerverfahren bei Gegenwart von Stickoxyden, oder nach dem Kontaktverfahren durch Oxydation der schwefeligen Säuren bei ca. 500° durch Luftsauerstoff bei Gegenwart von Platin oder Eisenverbindungen. Chlor wird in großen Mengen nach dem Deaconprozeß durch Oxydation von Chlorwasserstoff durch den Sauerstoff der Luft bei Gegenwart von Kupfersalzen nach der Gleichung

$$2HCl + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow Cl_2 + H_2O$$

gewonnen. Die Essiggärung beruht auf der Uebertragung des Luftsauerstoffs auf Weingeist durch Hefepilze bezw. durch die in letzteren enthaltenen Oxydase (s. weiter unten). Verschiedene Farbstoffe und deren Zwischenprodukte, wie Anilinschwarz, Phthalsäure und andere, werden durch Oxydation bei Gegenwart von Sauerstoffüberträgern erhalten. Als solche dienen zu diesem Zwecke meist Vanadin-, Cer-, Chrom- und Mangansalze. Bemerkt sei auch, daß zur Bereitung von Firnis dem Leinöl als sogenannte Sikkative Mangan- und Bleisalze zugeführt werden, um die Aufnahmefähigkeit des Luftsauerstoffs durch das Leinöl und damit die Trockenkraft des Firnisses zu erhöhen.

5e) Sauerstoffüberträger im Organismus. Oxydationsfermente. Eine äußerst wichtige Gruppe von Sauerstoffüberträgern bilden die Oxydationsfermente, welche die Oxydationsvorgänge im Organismus vermitteln. Die im Tierkörper verbrennenden Stoffe — Kohlehydrate, Fettkörper und Eiweißstoffe — werden außerhalb desselben von molekularem Sauerstoff bei Körperwärme gar nicht oder nur äußerst langsam angegriffen. Durch anorganische Sauerstoffüberträger, wie Mangan- oder Eisensalze, wird die Oxydation der Fettkörper und Eiweißkörper durch den Luftsauerstoff kaum, die der Zuckerarten in stärkerem Maße beschleunigt. So läßt sich nach Versuchen von Traube Rohrzucker beim Schütteln mit Luft bei Gegenwart von ammoniakalischer Kupferoxydlösung leicht oxydieren. Im Organismus sind äußerst wirksame Fermente, die man als Oxydasen bezeichnet, vorhanden, die in letzter Zeit durch Extraktion aus den Geweben und Organen und durch Fällen mit Alkohol isoliert worden sind. Aus den Spaltpilzen der Essiggärung (Mycoderma aceti) läßt sich, wie Buchner und Meisenheimer gezeigt haben, eine Oxydase isolieren, welche die Oxydation des Weingeistes durch den Luftsauerstoff katalysiert, wodurch der Nachweis erbracht ist, daß die Gärung nicht durch die Spaltpilze selbst, sondern durch ein in ihnen enthaltenes Ferment bewirkt wird. Die Oxydasen sind sehr wirksame Sauerstoffüberträger und vermitteln die mannigfaltigsten Oxydationsvorgänge, wie die Oxydation des Salizylaldehyds zu Salizylsäure, des Benzylalkohols zu Benzoesäure, des Formaldehyds zu Ameisensäure, der arsenigen Säure zu

Digitized by Google

Arsensäure, des Naphtylamins zu Oxynaphtylamin. Auch die Oxydation von Traubenzucker, Xanthin, Thyrosin, Guanin und anderen Spaltungsprodukten der Eiweißstoffe kann nach Versuchen von Spitzer durch Oxydasen im Reagenzglase vermittelt werden.

Es scheint, daß bei den meisten Oxydasen die katalytische Wirkung an die Gegenwart von Metallsalzen gebunden ist. Sie enthalten in der Regel Eisen und Mangansalze. Bertrand isolierte aus dem Lackbaum ein oxydierendes manganhaltiges Ferment, die Laccase, welches man von Mangan befreien kann. Das manganärmere Ferment hat nur geringe katalytische Wirkung. Diese wird bedeutend erhöht, wenn man der Lösung Mangansalz zufügt. Es wurde die beschleunigende Wirkung der manganhaltigen Laccase auf die Oxydation des Hydrochinons durch Luftsauerstoff zu Chinhydron gemessen, wobei sich erwies, daß Laccase und Mangansulfat für sich nur eine geringe, eine Lösung beider eine sehr starke Beschleunigung hervorruft. Wir finden also hier, wie bei den oben erwähnten (s. S. 399) Versuchen von Price, wiederum den Fall einer cofermentativen Wirkung.

Die tierischen Oxydasen, die man leicht aus allen Geweben extrahieren kann, enthalten statt des Mangans Eisen, dessen Rolle ganz der des Mangans in der Laccase entspricht. Denn Spitzer hat nachgewiesen, daß nur so lange, als das organisch gebundene Eisen im Oxydasemolekül vorhanden ist, dessen Oxydationskraft erhalten bleibt und daß die Intensität der Wirkung dem Gehalte an Eisen entspricht.

6. Autoxydation. Eine andere Art Sauerstoffübertragung steht in engstem Zusammenhange mit den durch Einwirkung von molekularem Sauerstoff hervorgerufenen und als Autoxydation bezeichneten Vorgängen. Wie schon von Schönbein beobachtet worden ist, wird bei der freiwilligen Oxydation von Stoffen durch elementaren Sauerstoff ein Teil desselben in aktiveren, reaktionsfähigeren Zustand versetzt, wodurch er die Fähigkeit erlangt, solche Stoffe zu oxydieren, die von gasförmigem Sauerstoff unter den gleichen Versuchsbedingungen nicht oder nur äußerst langsam angegriffen werden. Leitet man z. B. einen Luftstrom durch eine wässerige Lösung von Natriumarsenit, so bleibt dasselbe unverändert. Fügt man aber der Lösung Bisulfit zu, so wird beim Einleiten von Luft gleichzeitig mit der Oxydation desselben zu Sulfat auch Arsenit zu Arsenat oxydiert. Als weitere Beispiele seien Indigo, Oxalsäure, Ammoniak, Kohlenoxyd und Jodwasserstoff angeführt, welche bei Gegenwart einiger autoxydabler Substanzen, wie Benzaldehyd, Terpentinöl oder Palladiumwasserstoff gleichzeitig mit ihnen durch Luftsauerstoff oxydiert werden, bei Abwesenheit der autoxydablen Stoffe dagegen unter sonst gleichen Bedingungen unangegriffen bleiben. Die Stoffe, welche durch Luftsauerstoff unmittelbar oxydiert werden, nennt man Autoxydatoren, diejenigen, an welche der Sauerstoff durch Autoxydatoren übertragen wird, Akzeptoren.

6a) Theorie der Peroxyde. Die Ursache der besprochenen Erscheinungen ist, wie oben erwähnt, darauf zurückzuführen, daß bei den Vorgängen der Autoxydation ein Teil des Luftsauerstoffs aktiviert wird. Es hat sich nämlich erwiesen, daß bei der Einwirkung von freiem Sauerstoff auf oxydable Stoffe dem Ostwaldschen Stufengesetz entsprechend, demzufolge bei allen Vorgängen nicht gleich der beständigste Zustand erreicht wird, sondern der nach seinem Energiegehalte nächstliegende oder der unter den möglichen Zuständen wenigst beständige, in der Regel nicht die stabilsten Oxydationsprodukte entstehen, wie Wasser aus Wasserstoff, Benzoesäure aus Benzaldehyd, Ferriverbindungen aus Ferroverbindungen, sondern daß meist Stoffe auftreten, die einen höheren Sauerstoffgehalt besitzen, als diese und ein stärkeres Oxydationsvermögen, als das des angewandten Oxydationsmittels, des freien Sauerstoffs. So erhält man bei der Autoxydation des Wasserstoffs unter gewissen Bedingungen Wasserstoffsuperoxyd, bei der des Benzaldehyds das Superoxyd des Benzoesäureanhydrids, bei der von Ferrosalzen höhere Oxydationsstufen des Eisens.

Nach der von Traube ausgesprochenen und von Engler und Bach ausgearbeiteten und experimentell begründeten Theorie entstehen bei den Vorgängen der Autoxydation durch Anlagerung eines ganzen Sauerstoffmoleküls an den Autoxydator nach dem Schema

$$(1) \qquad A + \begin{matrix} O \\ \| \\ O \end{matrix} \rightarrow A\begin{matrix} \diagup O \\ \quad | \\ \diagdown O \end{matrix}$$

als primäre Oxydationsprodukte stets Peroxyde, d. h. Verbindungen vom Typus des Wasserstoffsuperoxyds H—O—O—H, die durch Anwesenheit von zwei miteinander verketteten Sauerstoffatomen im Molekül charakterisiert sind. Meist reagiert das entstandene Peroxyd sofort mit dem Autoxydator nach der Gleichung

$$(2) \qquad AO_2 + A \rightarrow 2AO$$

oder zerfällt nach der Gleichung

$$(3) \qquad AO_2 \rightarrow AO + \tfrac{1}{2}O_2$$

Digitized by Google

in Oxyd und Sauerstoff und entzieht sich dadurch unserer Wahrnehmung. Traube konnte jedoch die Bildung großer Mengen von Wasserstoffsuperoxyd bei der Verbrennung von Wasserstoff nachweisen, indem er die Wasserstofflamme gegen kaltes Wasser schlagen ließ und damit das primär erzeugte Peroxyd H_2O_2 durch Abschrecken, d. h. rasches Ueberführen in Temperaturgebiete mit geringer Reaktionsgeschwindigkeit der Zersetzung infolge des Temperaturrückganges nach Gleichung (3) oder der Reduktion durch Wasserstoff nach (2) entzog.

Auch Engler ist es gelungen, verschiedene, vornehmlich bei der Oxydation organischer Substanzen intermediär auftretende Peroxyde zu isolieren.

Ist Wasser zugegen, was meist der Fall sein wird, so kann es sich mit Peroxyd zu Wasserstoffsuperoxyd umsetzen:

$$(4)\quad AO_2 + H_2O \rightarrow AO + H_2O_2$$

Das ist z. B. bei der Einwirkung von Sauerstoff auf Blei in verdünnter Schwefelsäure der Fall, wobei, wie schon Schönbein nachgewiesen hat, auf ein Molekül Bleisulfat ein Molekül Wasserstoffsuperoxyd entsteht. Analog verhält sich Zink bei der Oxydation durch den Luftsauerstoff in Natronlauge.

Wird dem Autoxydator A als Akzeptor ein anderer oxydabler Stoff B zugesetzt, welcher vom Luftsauerstoff unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht angegriffen wird, so kann das zunächst erzeugte Peroxyd AO_2 bezw. das aus demselben nach (4) erzeugte Wasserstoffsuperoxyd vermöge seiner größeren Oxydationsenergie denselben nach dem Schema

$$(5)\quad AO_2 + B \rightarrow AO + BO$$

oder

$$(6)\quad H_2O_2 + B \rightarrow H_2O + BO$$

oxydieren.

6b) Hälftige Sauerstoffteilung. Ist die Geschwindigkeit des Vorganges (5) oder (6) unter den herrschenden Bedingungen erheblich größer als die der Vorgänge (2) oder (3), so wird, wie eine nähere Betrachtung der Gleichungen (1) und (5) bezw. (6) lehrt, der Autoxydator die Hälfte des von ihm aufgenommenen Sauerstoffs an den Akzeptor übertragen. Einen solchen Fall der hälftigen Sauerstoffteilung haben wir z. B. bei der schon erwähnten Oxydation einer wässerigen Lösung von Natriumsulfit bei Gegenwart von Natriumarsenit. Hierbei wird nach Versuchen von Jorissen ebensoviel Sauerstoff durch das Arsenit wie durch das Sulfit aufgenommen. Der Vorgang verläuft wahrscheinlich nach den Gleichungen

$$Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow Na_2SO_5$$
$$Na_2SO_5 + Na_3AsO_3 \rightarrow Na_2SO_4 + Na_3AsO_4.$$

6c) Unterschied zwischen Autoxydator und Katalysator. Somit kann ein Autoxydator im günstigsten Falle die Hälfte des von ihm aufgenommenen Sauerstoffs an den Akzeptor übertragen und unterscheidet sich dadurch wesentlich von einem Katalysator, der, wie oben erwähnt, theoretisch unbegrenzte Mengen von Sauerstoff an den oxydablen Stoff abgeben kann. Ein anderer wesentlicher Unterschied in der Sauerstoffübertragung durch einen Autoxydator und einen Katalysator besteht darin, daß durch ersteren dem größeren Oxydationsvermögen der Peroxyde zufolge auch unfreiwillige, also mit Energieverbrauch verlaufende Oxydationsprozesse erzwungen werden können, und zwar auf Kosten der bei der Oxydation des Autoxydators frei werdenden Energie. Bei Gegenwart eines Katalysators können dagegen nur freiwillige von selbst verlaufende Vorgänge sich abspielen, da der Katalysator im Endprodukte nicht erscheint d. h. unverändert bleibt und daher keine Energie zu liefern imstande ist.

Der Katalysator eines durch freien Sauerstoff bewirkten Oxydationsvorganges kann übrigens als Autoxydator aufgefaßt werden, welcher den ganzen von ihm aufgenommenen Sauerstoff an die oxydable Substanz nach der Gleichung:

$$AO_2 + 2B \rightarrow A + 2BO$$

abgibt, also stets vollständig regeneriert wird. Einen solchen Fall haben wir bei der oben besprochenen Sauerstoffübertragung durch Platin, welche auf abwechselnde Bildung und Reduktion des Platinsuperoxyds PtO_2 zurückzuführen ist.

7. Gekoppelte Oxydation. Die eben besprochene Sauerstoffübertragung durch einen Autoxydationsvorgang ist ein spezieller Fall einer Gruppe von Vorgängen, die man als gekoppelte Oxydation bezeichnet und die dadurch charakterisiert sind, daß ein Oxydationsmittel bei der freiwillig verlaufenden Einwirkung auf einen oxydablen Stoff gleichzeitig mit demselben einen anderen anwesenden Stoff oxydiert, welcher für sich allein unter sonst gleichen Bedingungen überhaupt nicht oder äußerst langsam von dem angewandten Oxydationsmittel oxydiert wird. Weinsäure wird beispielsweise gleichzeitig mit arseniger Säure von Kaliumbichromat in saurer Lösung oxydiert, während es für sich allein durch Bichromat nicht angegriffen wird.

Diese Erscheinung ist von Keßler entdeckt und von Luther und Schilow eingehend experimentell bearbeitet und aufgeklärt worden.

Nach dem Vorschlage von Luther und Schilow bezeichnet man das Oxydationsmittel als Aktor, den an der freiwilligen Oxydation beteiligten oxydablen Stoff als

Digitized by Google

Induktor, den mit oxydierten als Akzeptor. Der Aktor entspricht hierbei dem molekularen Sauerstoff bei den Autoxydationsvorgängen, der Induktor dem Autoxydator.

Die Ursache der Koppelung ist, wie bei der Autoxydation, auch hier in der Bildung eines durch Einwirkung des Aktors auf den Induktor gebildeten unbeständigen Zwischenkörpers, einer sauerstoffhaltigen Verbindung, zu suchen, welche vermöge ihrer größeren Oxydationsfähigkeit eine Oxydation des Akzeptors herbeiführt. Der Zwischenkörper braucht hierbei nicht, wie bei Autoxydationsvorgängen nach der Traube-Engler-Bachschen Theorie, den Charakter eines Peroxyds zu haben, sondern kann vielmehr eine von Fall zu Fall verschiedene Zusammensetzung besitzen. Daher braucht das Verhältnis der von dem Induktor und von dem Akzeptor aufgenommenen Sauerstoffmengen nicht unbedingt gleich 1:1 zu sein, dasselbe muß sich aber, falls die gekoppelte Reaktion durch Nebenvorgänge nicht kompliziert wird, den stöchiometrischen Gesetzen entsprechend durch ganze Zahlen ausdrücken lassen.

Das Verhältnis der von dem Induktor und von dem Akzeptor aufgenommenen Sauerstoffmengen wird als Induktionsfaktor bezeichnet. Aus demselben lassen sich Schlüsse auf die Zusammensetzung des Zwischenkörpers, der infolge seiner Unbeständigkeit als solcher nicht isoliert werden kann, ziehen, wodurch man ein anschauliches Bild von dem Mechanismus des Oxydationsvorganges gewinnen kann.

Für die gekoppelte Oxydation von Sulfit und Arsenit durch Bromat in saurer Lösung fand Schilow in zahlreichen Versuchen den Induktionsfaktor 1:2, woraus er schließt, daß der Zwischenkörper die Zusammensetzung $HBrO_2$ hat. Der Vorgang läßt sich demnach schematisch folgendermaßen darstellen

$$HBrO_3 + SO_2 + H_2O \rightarrow HBrO_2 + H_2SO_4$$
$$HBrO_2 + As_2O_3 \rightarrow HBr + As_2O_5.$$

Die gekoppelten Reaktionen scheinen bei den Oxydationsvorgängen im Organismus eine wichtige Rolle zu spielen, sind aber zurzeit noch nicht genügend erforscht, um allgemeine Schlüsse ziehen zu lassen und einen tieferen Einblick in den Mechanismus dieser Vorgänge zu gestatten.

Literatur. **G. Bodländer**, *Ueber langsame Verbrennung. Ahrens Sammlung chemisch-technischer Vorträge. Bd. III, 385—488 (1899).* — **A. Bach**, *Die langsame Verbrennung und die Oxydationsfermente. Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung, herausgegeben von E. Abderhalden. Bd. I, 55—141 (1910).* — **C. Engler und J. Weissberg**, *Kritische Studien über die Vorgänge der Autoxydation. Braunschweig 1909.* — **C. Engler und R. O. Herzog**, *Zur chemischen Erkenntnis biologischer Oxydationsreaktionen. Zeitschr. für physiolog. Chem. Bd. 59, S. 327 bis 375.* — **R. Luther und N. Schilow**, *Zur Systematik und Theorie gekoppelter Oxydations-Reduktionsvorgänge. Zeitschr. f. physikalische Chemie. Bd. 42, 641 und 46, 777 (1903).*

A. Moser.

Oxyde.

1. Anorganische Oxyde: a) Allgemeines: α) Ableitung und Benennung. β) Darstellung. γ) Verhalten. b) Oxyde der Nichtmetalle: α) Vorkommen. β) Darstellung. γ) Verhalten. c) Oxyde der Metalle: α) Vorkommen. β) Einteilung. γ) Basenbildende Oxyde. δ) Amphotere Oxyde. ε) Säurebildende Oxyde. d) Suboxyde. e) Superoxyde (Peroxyde). 2. Organische Oxyde.

1. Anorganische Oxyde. 1a) Allgemeines. α) Ableitung und Benennung. Oxyde heißen in der anorganischen Chemie die Sauerstoffverbindungen der Elemente.

Da der Sauerstoff zweiwertig ist, vereinigt sich ein Atom Sauerstoff mit zwei Atomen eines einwertigen oder einem Atom eines zweiwertigen Elementes. Bei dreiwertigen Elementen treten zwei Atome mit drei Atomen Sauerstoff zusammen; bei vierwertigen ist das Verhältnis eins zu zwei usw. z. B.

H_2O CaO Fe_2O_3 SO_2 P_2O_5 CrO_3 Mn_2O_7.

Da die meisten Elemente in mehreren Wertigkeitsstufen auftreten, können sie auch mehrere Sauerstoffverbindungen bilden z. B.

N_2O NO N_2O_3 NO_2 N_2O_5.

Ist von einem Element nur eine Sauerstoffverbindung bekannt, so heißt sie schlechtweg Oxyd; kennt man mehrere, so nennt man häufig die sauerstoffärmere Oxydul. Bei den säurebildenden Oxyden zählt man gewöhnlich die Sauerstoffatome und spricht von einem Monoxyd, Dioxyd, Trioxyd usw. z. B. SO_2 Schwefeldioxyd, SO_3 Schwefeltrioxyd, P_2O_5 Phosphorpentoxyd, Mn_2O_7 Manganheptoxyd. Außerdem unterscheidet man noch Suboxyde und Superoxyde (Peroxyde).

Die seit altersher bekannten Oxyde besitzen neben ihrem wissenschaftlichen natürlich auch noch einen Volksnamen z. B. H_2O Wasser, CaO Kalk, PbO Bleiglätte usw.

β) Darstellung. Viele Oxyde entstehen durch unmittelbare Vereinigung der Elemente mit Sauerstoff (Oxydation, Verbrennung; siehe die Artikel „Oxydation" und „Verbrennung") z. B.

$$2\,H + O = H_2O$$
$$S + 2\,O = SO_2$$
$$C + O = CO$$
$$C + 2\,O = CO_2$$
$$Pb + O = PbO$$

Digitized by Google

Manche dieser Oxydationen gehen schon bei gewöhnlicher Temperatur vor sich, andere müssen durch Erwärmen befördert werden. Da bei Oxydationen vielfach große Wärmemengen frei werden, benutzt man sie zu Heizzwecken wie z. B. die Verbrennung von Wasserstoff und Kohlenstoff und in neuerer Zeit zur Erzeugung besonders hoher Temperaturen auch die von Aluminium (Thermitverfahren siehe den Artikel „Aluminium").

Die nicht durch unmittelbare Oxydation der Elemente erhältlichen Oxyde müssen auf Umwegen dargestellt werden.

Viele Oxyde entstehen durch Wasserentziehung aus den entsprechenden Hydroxyden.

γ) Verhalten. Es gibt feste, flüssige und gasförmige Oxyde. In Wasser lösen sich nur wenige Oxyde unverändert, die meisten vereinigen sich damit zu Hydroxyden z. B.

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$$
$$P_2O_5 + 3\,H_2O = 2\,H_3PO_4.$$

Je nachdem ihre Hydroxyde Basen oder Säuren sind, unterscheidet man basenbildende und säurebildende Oxyde. Die Hydroxyde der eigentlichen Nichtmetalle sind Säuren. Die meisten Hydroxyde der eigentlichen Metalle sind Basen; manche Metallhydroxyde sind amphoter d. h. sie besitzen sowohl basische wie saure Eigenschaften; die Hydroxyde der höchsten Wertigkeitsstufen einiger Metalle sind Säuren.

Basenbildende und säurebildende Oxyde vereinigen sich miteinander zu Salzen, z. B.

$$CaO + SO_3 = CaSO_4.$$

Ist einer der sich verbindenden Teile ein Hydroxyd d. h. eine Base oder eine Säure, so bildet sich außer dem Salz auch noch Wasser z. B.

$$CaO + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2O$$
$$Ca(OH)_2 + SO_3 = CaSO_4 + H_2O.$$

Dies ist natürlich erst recht der Fall bei der Vereinigung zweier Hydroxyde

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2\,H_2O.$$

Da die säurebildenden Oxyde sich mit Wasser zu Säuren vereinigen, so stellen sie deren Anhydride dar und werden dementsprechend auch benannt z. B. SO_3 Schwefelsäureanhydrid, P_2O_5 Phosphorsäureanhydrid. Zuweilen läßt man auch den Zusatz „anhydrid" weg und nennt (mißbräuchlich) auch die Oxyde Säuren z. B. CO_2 Kohlensäure, SO_2 schweflige Säure, SiO_2 Kieselsäure.

Während manche der sauerstoffreicheren Oxyde ihren Sauerstoff leicht abgeben und daher oxydierend wirken, nehmen andere Oxyde leicht noch mehr Sauerstoff auf und sind daher Reduktionsmittel.

1b) Oxyde der Nichtmetalle. Mit Ausnahme des Fluors und der Edelgase bilden alle Nichtmetalle Oxyde, die meisten sogar mehrere.

α) Vorkommen. Von den in der Natur vorkommenden Oxyden der Nichtmetalle ist Wasser das verbreitetste und wichtigste. Nächst ihm kommt Siliciumdioxyd (Kieselsäure) in größter Menge vor und bildet als Quarz eines der häufigsten und wichtigsten Mineralien. Kohlendioxyd (Kohlensäure) ist ein regelmäßiger Bestandteil der Atmosphäre (siehe den Artikel „Atmosphäre"). Es wird bei vulkanischen Vorgängen, sowie aus den als Nachwirkungen solcher auftretenden Mineral- und Gasquellen (Mofetten) in großer Menge entwickelt. Vulkanische Gase enthalten häufig auch erhebliche Mengen Schwefeldioxyd (Solfataren). Jedenfalls auch in Zusammenhang mit vulkanischen Erscheinungen tritt an wenigen Stellen (Toskana) auch Borsäure auf.

β) Darstellung. Die Mehrzahl der Nichtmetalle verbindet sich unmittelbar mit Sauerstoff. Während Phosphor dies schon bei gewöhnlicher Temperatur tut, verbrennen andere Elemente wie Wasserstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Silicium erst beim Erhitzen. Stickstoff kann mit Hilfe elektrischer Entladungen mit Sauerstoff vereinigt werden. Die Halogene verbinden sich dagegen überhaupt nicht unmittelbar mit Sauerstoff; ihre Oxyde müssen daher auf andere Weise dargestellt werden. Chlormonoxyd erhält man durch Einwirkung von Chlor auf Quecksilberoxyd

$$HgO + 4\,Cl = HgCl_2 + Cl_2O.$$

Die übrigen Halogenoxyde werden aus den Halogensauerstoffsäuren gewonnen.

Viele Oxyde der Nichtmetalle erhält man durch Wasserabspaltung aus ihren Hydroxyden (Säuren). Während manche Säuren Wasser sehr leicht abgeben, z. B. Kohlensäure und schweflige Säure schon beim Verdunsten der wässerigen Lösung, ist bei anderen höhere Temperatur hierzu erforderlich wie z. B. bei Kieselsäure, Borsäure, Jodsäure. Bei noch anderen bedarf es des Zusatzes eines wasserentziehenden Mittels z. B. bei Schwefelsäure, Salpetersäure (vgl. den Art. „Anhydride").

γ) Verhalten. Einige der sauerstoffärmeren Oxyde der Nichtmetalle sind indifferenter Natur z. B. CO, N_2O, NO. Die Mehrzahl sind Säurebildner d. h. sie vereinigen sich mit Wasser zu Säuren. Diese Vereinigung mit Wasser findet bei den einzelnen Elementen in der Regel um so leichter statt und die gebildeten Säuren sind um so stärker, je mehr Sauerstoff das Oxyd enthält; z. B. verbindet sich Schwefeltrioxyd sehr leicht mit Wasser zu der beständigen, starken Schwefelsäure, während aus Schwefeldioxyd und Wasser die schwächere und leicht wieder zerfallende schweflige Säure entsteht.

Manche Oxyde der an der Grenze zwischen

Digitized by Google

Nichtmetallen und Metallen stehenden Elemente Tellur, Arsen, Antimon besitzen auch basische Eigenschaften; Tellurdioxyd verbindet sich z. B. auch mit starken Säuren zu unbeständigen Salzen, die bereits durch Wasser wieder zersetzt werden.

1c) Oxyde der Metalle. Sämtliche Metalle vermögen sich unmittelbar oder mittelbar mit Sauerstoff zu Oxyden zu vereinigen, die meisten in mehreren Verhältnissen.

α) Vorkommen. Manche Metalloxyde kommen frei in der Natur vor, einige in so großen Mengen, daß sie wichtige Ausgangsmaterialien für die Gewinnung der Metalle sind, wie z. B. Fe_2O_3 als Eisenglanz und Roteisenerz, Fe_3O_4 Magnetit, MnO_2 Braunstein, SnO_2 Zinnstein; seltener finden sich Cu_2O Cuprit, ZnO Rotzinkerz. Al_2O_3 gehört als Rubin und Saphir zu den wertvollsten Edelsteinen, während der gewöhnliche Korund (Schmirgel) wegen seiner Härte ein sehr geschätztes Schleifmaterial ist.

Auch die Hydroxyde mancher Metalle sind in der Natur weit verbreitet. Besonders wichtig sind Brauneisenerz 2 Fe_2O_3.3 H_2O, Goethit FeO(OH), Manganit MnO(OH), Bauxit $Al_2O_3.xH_2O$ usw.

β) Einteilung. Die Metalle werden in edle und unedle eingeteilt, je nachdem sie sich mehr oder minder leicht mit Sauerstoff vereinigen (oxydieren). Je schwerer sich ein Metall mit Sauerstoff verbindet, um so edler ist es. Die unedlen Metalle oxydieren sich von selbst an der Luft, teils schon bei gewöhnlicher Temperatur, teils erst beim Erhitzen. Ihre Oxyde sind auch bei höherer Temperatur beständig, während die (nur auf Umwegen darstellbaren) Oxyde der edlen Metalle beim Erhitzen in Metall und Sauerstoff zerfallen.

Es gibt basenbildende, amphotere und säurebildende Metalloxyde.

γ) Basenbildende Oxyde. Basenbildende Metalloxyde sind solche, deren Hydroxyde Basen sind. Diese Oxyde wie ihre Hydroxyde bilden mit Säuren Salze. Kennt man von einem Metall zwei derartige Verbindungen, so nennt man die sauerstoffreichere Oxyd, die sauerstoffärmere dagegen Oxydul z. B. FeO Eisenoxydul, Fe_2O_3 Eisenoxyd. Oder man unterscheidet beide Verbindungen dadurch, daß man sie zwar beide Oxyd nennt, aber an die Stammsilbe des lateinischen Namens des Metalls einmal -o, das anderemal -i anhängt z. B. Cu_2O Cuprooxyd, CuO Cuprioxyd.

Die Oxyde und Hydroxyde von Kalium und Natrium heißen von altersher Alkalien. Die Oxyde und Hydroxyde von Barium, Strontium, Calcium, Magnesium bezeichnet man als Erdalkalien oder alkalische Erden. Die Oxyde von Aluminium (und Silicium) nannte man Erden. Dieser Name wird jetzt außer in der Zusammensetzung Tonerde = Aluminiumoxyd noch für die Oxyde der dem Aluminium nahestehenden selteneren Elemente (seltene Erden) gebraucht (vgl. den Artikel „Basen").

Die basenbildenden Oxyde entstehen vielfach durch Oxydation der Metalle an der Luft. Hierbei wird bei den meisten Metallen Wärme frei. Die entwickelte Wärmemenge ist um so größer, je unedler das Metall ist. Von der bei der Oxydation von Aluminium freiwerdenden Wärme macht man in der Technik Gebrauch zur Erzeugung besonders hoher Temperaturen (vgl. den Artikel „Aluminium").

Viele Metalle sind imstande Wasser zu zersetzen, manche schon in der Kälte, wie Kalium, Natrium, Calcium, andere erst bei Siedehitze, wie Magnesium, Zink, Aluminium; noch andere, wie Eisen, setzen sich erst bei hohen Temperaturen mit Wasserdampf um. Die Metalle gehen hierbei in Oxyde oder Hydroxyde über. Da bei dieser Zersetzung stets Wasserstoff entwickelt wird, macht man in der Technik davon Gebrauch zur Darstellung von Wasserstoff, der entweder als solcher aufgefangen oder sogleich zu Reduktionszwecken weiter verwendet wird. Diese Umsetzung tritt auch bei der elektrolytischen Darstellung von Natronlauge ein.

Viele Oxyde lassen sich durch Wasserabspaltung aus den entsprechenden Hydroxyden gewinnen, die gewöhnlich schon beim einfachen Erhitzen vor sich geht. Die Wasserabgabe erfolgt umso leichter, je edler das Metall ist. Die eigentlichen Edelmetalle bilden überhaupt keine Hydroxyde; an ihrer Stelle entstehen immer die Oxyde.

Viele Salze flüchtiger Säuren zersetzen sich beim Erhitzen unter Hinterlassung von Metalloxyden. Diese Zersetzung geht um so leichter vor sich, je schwächer basisch das zurückbleibende Oxyd ist. Die schwach basischen Oxyde vieler Schwermetalle vermögen selbst die Reste starker Säuren nicht festzuhalten, so daß auch ihre Nitrate und Sulfate beim Glühen Oxyde ergeben z. B.

$$Cu(NO_3)_2 = CuO + N_2O_5$$
$$Fe_2(SO_4)_3 = Fe_2O_3 + 3\ SO_3$$

Bei den stark basischen Alkalien sind selbst die Karbonate glühbeständig, während die Karbonate aller übrigen Metalle beim Erhitzen zerfallen. Solche Zerlegungen von Karbonaten durch hohe Temperatur werden technisch in großem Maßstabe ausgeführt beim Brennen des Magnesits und vor allem des Kalks im Kalkofen

$$CaCO_3 = CaO + CO_2.$$

Diese Reaktion ist wohl die technisch wichtigste Darstellung eines Metalloxyds. Calciumoxyd wird nach Ueberführung in

das Hydroxyd nicht nur in großen Mengen zu Mörtel verwendet, sondern dient auch, da es die billigste Base ist, zur Gewinnung anderer Oxyde und Hydroxyde z. B. zur Darstellung von Natriumhydroxyd (siehe Natrium im Artikel „Lithiumgruppe").

Die Oxyde der edlen Metalle erhält man durch Fällen ihrer Salzlösungen mit Alkalien z. B.

$$2\ AgNO_3 + 2\ NaOH = Ag_2O + 2\ NaNO_3 + H_2O.$$

Die Salze unedler Metalle geben bei der Fällung mit Alkalien Hydroxyde z. B.

$$AlCl_3 + 3\ NH_4OH = Al(OH)_3 + 3\ NH_4Cl.$$

Manche Hydroxyde entstehen schon bei der Einwirkung von Wasser oder Wasserdampf auf Metallsalze (vgl. den Art. „Hydrolyse"). Technisch wird diese Reaktion zur Gewinnung des Bariumhydroxyds benutzt

$$BaCO_3 + H_2O = Ba(OH)_2 + CO_2.$$

Die stark basischen Oxyde der Alkalimetalle vereinigen sich sehr leicht mit Wasser zu Hydroxyden (Basen), die in Wasser leicht löslich sind, z. B.

$$K_2O + H_2O = 2\ KOH.$$

Die Oxyde von Barium, Strontium, Calcium gehen ebenfalls leicht in die entsprechenden Hydroxyde über; die Reaktion

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$$

(Löschen des Kalks) wird praktisch in größtem Maßstabe ausgeführt.

Alle übrigen Oxyde nehmen Wasser nicht oder doch nur äußerst langsam auf. Die Hydroxyde dieser Metalle erhält man durch Fällen ihrer Salzlösungen mit Alkalien z. B.

$$CuSO_4 + 2\ NaOH = Cu(OH)_2 + Na_2SO_4.$$

Während die Oxyde der edlen Metalle bereits beim Erhitzen in Metall und Sauerstoff zerfallen, bedarf es bei den Oxyden der unedlen Metalle hierzu reduzierender Kräfte, die um so stärker sein müssen, je unedler das Metall ist. Alle Oxyde lassen sich unter geeigneten Bedingungen, die für die verschiedenen Metalle verschieden sind, durch den elektrischen Strom reduzieren. Bei den meisten, namentlich denen der Schwermetalle, gelingt dies auch durch Einwirkung von Reduktionsmitteln wie Wasserstoff, Kohlenstoff, Kohlenoxyd oder anderen, leichter oxydierbaren Metallen, z. B. Magnesium oder Aluminium, bei höherer Temperatur.

δ) Amphotere Oxyde. Unter amphoteren Metalloxyden versteht man solche, die sowohl basische wie saure Eigenschaften besitzen. Je nachdem die einen oder anderen überwiegen, kann man zwei Klassen unterscheiden. In die erste Abteilung mit überwiegend basischem Charakter gehören z. B. Aluminiumoxyd Al_2O_3, Zinkoxyd ZnO, Bleioxyd PbO, Zinnoxydul SnO. Säuren gegenüber verhalten sie sich wie die basenbildenden Oxyde, denen sie auch sonst in jeder Beziehung nahestehen. Sie vermögen aber auch mit starken Basen Salze zu bilden. Man hat also:

$$Al_2O_3 + 6\ HCl = 2\ AlCl_3 + 3\ H_2O$$
$$Al_2O_3 + 6NaOH = 2\ Al(ONa)_3 + 3\ H_2O.$$

Ebenso verhalten sich auch ihre Hydroxyde z. B.

$$Zn(OH)_2 + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2O$$
$$Zn(OH)_2 + 2\ KOH = Zn(OK)_2 + 2\ H_2O.$$

Bei der zweiten Gruppe amphoterer Oxyde überwiegen die sauren Eigenschaften. Ihre Hydroxyde werden daher geradezu als Säuren bezeichnet, z. B. H_2SnO_3 Zinnsäure, H_2TiO_3 Titansäure, HVO_3 Vanadinsäure usw. Häufig werden auch die beim Erhitzen daraus entstehenden Anhydride TiO_2, V_2O_5 usw. Säuren genannt.

Basen gegenüber verhalten sie sich wie Säuren oder Säureanhydride. Andererseits vermögen sie aber auch mit starken Säuren Salze zu bilden, von denen allerdings meist nur die mit Halogenen eine normale Zusammensetzung haben.

ε) Säurebildende Oxyde. Die Oxyde der höchsten Wertigkeitsstufen von Mangan, Chrom (und Eisen) besitzen nur saure Eigenschaften, d. h. sie vereinigen sich nur mit Basen zu Salzen. Ihre Hydroxyde sind Säuren. Sie entstehen durch Oxydation der niederen Oxyde bei Gegenwart von Alkali. Man erhält sie hierbei zunächst in Form ihrer Salze, aus denen dann durch stärkere Säuren die entsprechenden Hydroxyde (Säuren) in Freiheit gesetzt werden z. B.

$$Cr_2O_3 + 6\ Br + 10\ KOH = 2\ K_2CrO_4 + 6\ KBr + 5\ H_2O$$
$$MnO + 2\ KNO_3 + Na_2CO_3 = Na_2MnO_4 + 2\ KNO_2 + CO_2.$$

Die Säuren werden schließlich durch wasserentziehende Mittel, z. B. konzentrierte Schwefelsäure, in die zugehörigen Oxyde übergeführt. Aus der Chromsäure erhält man so das Chromtrioxyd CrO_3, aus der Uebermangansäure das Manganheptoxyd Mn_2O_7

$$2\ KMnO_4 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + Mn_2O_7.$$

Das der Mangansäure H_2MnO_4 entsprechende Anhydrid ist nicht bekannt.

Da diese Oxyde sowie auch die zugehörigen Säuren leicht Sauerstoff abgeben, sind sie starke Oxydationsmittel (vgl. den Artikel „Säuren").

1d. Suboxyde. Die niedrigsten Oxyde der Elemente werden gelegentlich Suboxyde genannt, doch besteht darüber keine bestimmte Regel. Bei den Metallen spricht man gewöhnlich dann von einem Suboxyd, wenn von der gleichen Wertigkeitsstufe keine Salze bekannt sind.

Manche Suboxyde bilden sich bei der

Digitized by Google

langsamen Oxydation der Metalle an der Luft; es ist jedoch nicht immer einwandsfrei nachgewiesen, ob nicht Gemische von Metall und Oxyd vorliegen.

Das bestbekannte Suboxyd ist das Bleisuboxyd Pb_2O, das man erhält, wenn Bleioxalat unter Luftabschluß nicht über 300° erhitzt wird

$$2\,PbC_2O_4 = Pb_2O + CO + 3\,CO_2.$$

Bei stärkerem Erhitzen zerfällt es in Blei und Bleioxyd.

Das sogenannte Kohlensuboxyd

$$O{=}C{=}C{=}C{=}O$$

ist ein Abkömmling der Malonsäure, in die es durch Wasseraufnahme wieder übergeht

$$C_3O_2 + 2\,H_2O = CH_2\begin{matrix}\diagup COOH\\ \diagdown COOH\end{matrix}$$

1e. Superoxyde (Peroxyde). Als Superoxyde oder Peroxyde bezeichnet man im allgemeinen höhere Oxyde, die verhältnismäßig leicht Sauerstoff abgeben. Man muß bei ihnen scharf zwei Klassen unterscheiden.

In den echten Peroxyden sind zwei Sauerstoffatome unmittelbar miteinander verbunden wie im Wasserstoffsuperoxyd H—O—O—H und den entsprechenden Metalloxyden Na_2O_2, BaO_2 usw., die man auch als Salze des Wasserstoffsuperoxyds (Peroxyte) auffassen kann. Die Wertigkeit des Metalls ist in ihnen dieselbe wie in den Oxyden.

Die Peroxyde der Alkalimetalle entstehen beim Erhitzen des Metalls oder der Oxyde mit überschüssigem Sauerstoff. Bariumsuperoxyd bildet sich, wenn Bariumoxyd in Luft oder Sauerstoff auf 350° erhitzt wird.

Wasserstoffsuperoxyd wird durch Zersetzung von Metallsuperoxyden mit Säuren oder durch Zerlegung von Persäuren dargestellt z. B.

$$Na_2O_2 + 2\ HCl = H_2O_2 + 2\ NaCl$$
$$BaO_2 + H_2SO_4 = H_2O_2 + BaSO_4$$
$$H_2S_2O_8 + 2\,H_2O = H_2O_2 + 2\,H_2SO_4.$$

Wasserhaltige Peroxyde erhält man durch Behandeln von Oxyden oder Hydroxyden mit Wasserstoffsuperoxyd z. B.

$$ZnO + H_2O_2 = ZnO_2 + H_2O$$
$$Mg(OH)_2 + H_2O_2 = MgO_2 + 2\,H_2O.$$

Reine Metallperoxyde entstehen bei der Einwirkung von wasserfreiem Wasserstoffsuperoxyd auf Metallalkyle z. B.

$$Zn(C_2H_5)_2 + H_2O_2 = ZnO_2 + 2\,C_2H_6.$$

Alle echten Peroxyde werden durch Säuren unter Bildung von Wasserstoffsuperoxyd zersetzt. Beim Erhitzen gehen sie unter Abgabe von Sauerstoff in Oxyde über. Auf der Aufnahme von Sauerstoff durch Bariumoxyd und dem Zerfall des Bariumsuperoxyds bei stärkerem Erhitzen beruht ein technisches Verfahren zur Gewinnung von reinem Sauerstoff aus der Luft

$$BaO + O \rightleftarrows BaO_2.$$

Wegen ihres leichten Zerfalls sind alle echten Peroxyde starke Oxydationsmittel.

Bei der zweiten Klasse von Peroxyden z. B. Mangansuperoxyd MnO_2, Bleisuperoxyd PbO_2 usw., besitzt das Metall eine höhere Wertigkeit als in den Oxyden und die Sauerstoffatome sind doppelt an das Metall, nicht aber unter sich gebunden

$$Mn\begin{matrix}{=}O\\ {=}O\end{matrix},\quad Pb\begin{matrix}{=}O\\ {=}O\end{matrix}.$$

Mit Säuren verbinden sich diese Peroxyde zu unbeständigen Salzen, die leicht unter Abspaltung von Halogen oder Sauerstoff in die normalen Salze übergehen z. B.

$$PbO_2 + 4\ HCl = PbCl_4 + 2\ H_2O$$
$$PbCl_4 = PbCl_2 + 2\ Cl$$
$$PbO_2 + 2\ H_2SO_4 = Pb(SO_4)_2 + 2\ H_2O$$
$$Pb(SO_4)_2 = PbSO_4 + SO_3 + O$$

Sie besitzen aber auch schwach saure Eigenschaften und verbinden sich daher auch mit Basen zu Salzen z. B.

$$PbO_2 + 2\ KOH = K_2PbO_3 + H_2O.$$

Diese Peroxyde entstehen durch Oxydation der Oxyde oder Hydroxyde der Metalle z. B.

$$PbO + NaOCl = PbO_2 + NaCl$$
$$Mn(OH)_2 + H_2O_2 = Mn(OH)_4$$
$$Mn(OH)_4 = MnO_2 + 2H_2O.$$

Beim Erhitzen zerfallen sie ebenfalls in Sauerstoff und niedere Metalloxyde.

Da auch diese Peroxyde leicht Sauerstoff abgeben, dienen sie gleichfalls als Oxydationsmittel.

2. Organische Oxyde. In der organischen Chemie wird der Name Oxyd fast nur bei den inneren Aethern zweiwertiger Alkohole gebraucht z. B. Aethylenoxyd $\begin{matrix}CH_2\diagdown\\ |\quad\ \ O\\ CH_2\diagup\end{matrix}.$

Sonst wendet man die Bezeichnung Oxyd noch bei solchen Verbindungen an, bei denen der Sauerstoff nicht an Kohlenstoff gebunden ist, man spricht z. B. von Sulfoxyden R_2SO, Aminoxyden R_3NO, Phosphinoxyden R_3PO usw.

Kakodyloxyd ist die Verbindung

$$\begin{matrix}(CH_3)_2As\diagdown\\ \qquad\qquad O.\\ (CH_3)_2As\diagup\end{matrix}$$

Organische Peroxyde sind meist die Anhydride organischer Persäuren z. B.

$$\text{Acetylperoxyd}\quad\begin{matrix}CH_3{-}CO{-}O\\ |\\ CH_3{-}CO{-}O\end{matrix},$$

$$\text{Benzoylperoxyd}\quad\begin{matrix}C_6H_5{-}CO{-}O\\ |\\ C_6H_5{-}CO{-}O\end{matrix}.$$

Digitized by Google

Glyoximperoxyde heißen die Oxydationsprodukte von o-Dioximen z. B. Diphenylglyoximperoxyd

$$\begin{array}{l} C_6H_5-C=N-O \\ \quad\quad\;\; | \quad\quad\;\; | \;\; . \\ C_6H_5-C=N-O \end{array}$$

Literatur. ***Gmelin-Krauts*** *Handbuch der anorganischen Chemie. Herausgegeben von C.* ***Friedheim*** *7. Aufl. Heidelberg 1907.* — ***E. Ebler und R. L. Krause****, Ueber das Zinkperoxyt (Zinkmoloxyd, Zinkperoxydat),* $ZnO_2 . \frac{1}{2} H_2O$ *und eine allgemeine Methode zur Darstellung von Peroxyten. Zeitschr. f. anorgan. Chemie Bd. 71, S. 150. 1911.*

W. Meigen.

Digitized by Google

P.

Pacini
Filippo.

Geboren am 25. Mai 1812 in Pistoja, gestorben am 9. Juli 1883 in Florenz. Studierte in Florenz und Pisa Medizin und dozierte über 40 Jahre in der medizinischen Fakultät in Florenz, wo er das Fach der Anatomie vertrat. Er ist besonders durch die von ihm 1833 neuentdeckten „Pacinischen Körperchen" bekannt geworden, die eine Form der Nervenendigungen der Haut darstellen und die schon A. Vater, Professor der Anatomie in Wittenberg (geboren 1684, gestorben 1751) aufgefunden hatte. Auch die elektrischen Fische, die schon A. v. Humboldts Aufmerksamkeit erregt hatten, machte er zum Gegenstand seiner Untersuchung. Er studierte ferner die Veränderungen der Darmschleimhaut bei der Cholera und hat auch den Erreger gesehen, ohne seinen spezifischen Charakter zu erkennen. Seine Arbeiten wurden in seiner Heimat wenig anerkannt. Noch kurz vor seinem Tode verweigerte die Accademia dei Lincei in Rom seine Aufnahme. Seine Arbeiten sind: Nuovi organi scoperti nel corpo umano (Pistoia 1840), Nuove ricerche microscopiche sulla tessitura interna della retina (Bologna 1845), Sopra l'organo elettrico del silaro del Nilo (Bologna 1846), Sur l'organe électrique de la torpille, du gymnote (Genf 1853).

Literatur. *La grande Encyclopédie. 1903.*

W. Harms.

Pacinotti
Antonio.

Geboren am 14. Juni 1841 in Pisa, gestorben am 24. März 1912 zu Pisa. Er studierte in seiner Vaterstadt, wurde 1862 Assistent am dortigen physikalischen Institut, 1864 Professor der Physik am technischen Institut in Bologna, 1873 Professor in Cagliari und 1882 in Pisa. Pacinotti ist neben Gramme der Erfinder des Ringankers mit geschlossener Wickelung und des Kollektors der Dynamomaschinen.

Literatur. *Elektrotechnische Zeitschrift. 33. Jahrgang, S. 629.*

E. Drude.

Paläobotanik.

1. Definition, Bedeutung und Allgemeines. 2. Geschichtliches. 3. Art und Erhaltung der fossilen Pflanzenreste. 4. Beteiligung der Pflanzen an der Zusammensetzung der Erdrinde. 5. Die wichtigsten Gruppen der fossilen Pflanzenwelt und ihre Hauptvertreter: a) Fossile Algen, Pilze und Moose. b) Fossile Pteridophyten (Farngewächse im weitesten Sinne, Gefäßkryptogamen): α) Filices (und Pteridospermeae). β) Sphenophyllales. γ) Equisetales und Calamariales. δ) Lepidophyta. c) Fossile Gymnospermen: α) Coniferen. β) Ginkgophyten. γ) Cordaiten. δ) Cycadophyten (incl. Bennettitales). d) Fossile Angiospermen: α) Monocotyledonen. β) Dicotyledonen. e) Allgemeines.

1. Definition, Bedeutung und Allgemeines. Die Paläobotanik (Paläophytologie, Phytopaläontologie, Pflanzenpaläontologie) ist die Wissenschaft, die sich mit der Pflanzenwelt ehemaliger Erdperioden beschäftigt; demgemäß ist sie eine Wissenschaft, die in erster Linie mit der Botanik und Geologie Fühlung hat, und die genügende Kenntnis dieser beiden Wissenschaften ist für den, der sich mit Paläobotanik beschäftigt, selbstverständliche Vorbedingung. Fossile Pflanzenreste sind schon sehr lange bekannt, und wahrscheinlich kannten schon einige der alten griechischen Naturphilosophen solche. Als Wissenschaft ist die Paläobotanik dagegen verhältnismäßig jungen Datums, und man kann die Zeit, seit der man die fossile Pflanzenwelt wissenschaftlich behandelt, auf knapp 100 Jahre schätzen. Schon früh haben sich außer den Geologen manche Botaniker für die fossile Pflanzenwelt interessiert, und die Hauptarbeit auf diesem Gebiete ist entschieden von Botanikern oder von genügend botanisch Bewanderten geleistet worden. In der Tat ist ja auch die Paläobotanik ein Zweig der Botanik. Ihre Bedeutung für diese beruht zunächst darin, daß sie überhaupt die Bekanntschaft mit der ehemaligen Pflanzenwelt vermittelt, bei der es sich zum Teil um zahlreiche ausgestorbene Gattungen, Arten und ganze Pflanzengruppen

Digitized by Google

handelt. Indem sie das zeitliche Auftreten der einzelnen Pflanzengruppen — lebender oder ausgestorbener — und deren Erlöschen dartut, dient sie der Lösung der Frage nach dem Alter der verschiedenen Pflanzengruppen; indem sie die Bekanntschaft mit den Vorahnen der heutigen Pflanzenwelt vermittelt, hilft sie deren Formen verstehen; ferner ist sie eine wichtige Helferin der Pflanzengeographie und noch anderer Teildisziplinen der Botanik geworden.

Andererseits aber ist sie auch ein wichtiges Hilfsmittel der Geologie. Die Einteilung der Erdschichten in bestimmte Perioden ist zwar wesentlich auf Grund von Tierresten erfolgt, in vielen Fällen hat man aber keine solchen oder nur ungenügende, und dann ist es oft die fossile Pflanzenwelt, nach deren Formen das Alter der betreffenden Schichten bestimmt wird. In manchen Formationen, und gerade in der allerwichtigsten, der Steinkohlen- oder Carbonperiode, ist man überhaupt oft fast allein auf die Pflanzenreste angewiesen, da Tierreste hier zu selten sind. Wie bei den Tieren, so ist auch die Lebensdauer der einzelnen ehemaligen Pflanzen und Pflanzengruppen verschieden groß; demnach ist auch der Wert der verschiedenen Pflanzenfossilien als Leitfossilien verschieden groß.

Versucht man auf Grund der Pflanzenreste eine Dreiteilung der Erdgeschichte nach Analogie der gebräuchlichen, auf Grund der Verhältnisse der Tierreste gewonnenen Dreiteilung in Paläozoikum, Mesozoikum und Känozoikum durchzuführen, so gelingt dies ohne Schwierigkeiten (siehe die Tabelle am Schluß).

Jedoch ergibt dieser Versuch die merkwürdige Erscheinung, daß sich die gewonnenen Grenzen mit den gebräuchlichen nicht decken, sondern jeweils weiter zurückliegen. Das Paläozoikum der Pflanzenwelt charakterisiert sich durch das Ueberwiegen der Pteridophyten (farnartigen Pflanzen) im weitesten Sinne, neben denen die auch damals schon vorhandenen Gymnospermen entschieden zurücktreten. Die ältesten Pflanzen scheinen Algen gewesen zu sein. Das Mesozoikum der Pflanzenwelt hat seinen Charakter durch die Uebermasse der Gymnospermen, unter denen besonders Coniferen, Cycadophyten und Ginkgophyten (s. Abschnitt 5c, β) hervortreten. Erst spät gewinnt die Flora durch das Auftreten der heute dominierenden Gewächsreihen, der Angiospermen (Monocotylen und Dicotylen) einen modernen Anstrich, und diese Pflanzengruppen bezeichnen das Känozoikum der Pflanzenwelt. Das Paläozoikum der Pflanzen, das seinen Höhepunkt in der carbonischen Flora findet, muß bis zum Rotliegenden, der unteren Permstufe, gerechnet werden, da dessen Flora noch zahlreiche Anklänge an die carbonische Flora zeigt. Die Zechsteinflora trägt trotz der Dürftigkeit durch das Vorwalten gymnospermer Typen entschieden den Charakter der mesozoischen. Demgemäß ist die Grenze des alten Zeitalters des Pflanzenreichs mitten in die Permformation zu legen, also bedeutend früher als die Buntsandsteinformation. Noch fühlbarer wird dasselbe Verhältnis beim Mesozoikum und Känozoikum. Hier fällt das Ende der mesozoischen Pflanzen über den untersten Horizont der Kreideperiode, die Wealdenformation. In dem tiefsten Horizont der oberen Kreide (Cenoman) haben wir dagegen schon zahlreich dicotyle und monocotyle Pflanzen, also im Prinzip den heutigen Zustand. Es fällt also der Schnitt zwischen Neuzeit und Mittelalter des Pflanzenreichs ohne jeden Zweifel in die untere Kreideperiode, also wieder weit früher als der Beginn des Känozoikums für gewöhnlich gesetzt wird (Tertiärformation). Man kann demgemäß geradezu von einem Vorauseilen der Entwickelung der Pflanzenwelt gegenüber der Tierwelt sprechen, auf die ja die gewöhnliche Einteilung der geologischen Perioden zurückgeht. Es läßt diese mit dem späteren Paläozoikum mit nicht mißzuverstehender Deutlichkeit sich aufdrängende Erscheinung vielleicht noch weitergehende Rückschlüsse auf noch ältere Verhältnisse zu, nämlich die Verallgemeinerung, daß die Pflanzenwelt ein höheres Alter als die Tierwelt besaß, die ja in ihrer Existenz auf jene angewiesen ist. Weshalb die Masse der Säugetiere erst weit später als die Angiospermen auftreten, kann seinen sehr einfachen Grund darin haben, daß sie von diesen Pflanzen leben; wenigstens ist es heute so. Bei der Abhängigkeit des Tierreichs vom Pflanzenreich scheint es jedenfalls verständlich, weshalb umwälzende Veränderungen in der Tierwelt erst später als solche in der Pflanzenwelt eintraten. Für die älteren Formationen ist die Sache weniger durchsichtig; die Tatsache des Entwickelungsvorsprunges ist aber auch am Ende des Paläozoikums unverkennbar.

Eine weitere Fundamentaltatsache, die die Pflanzenfossilien geliefert haben, ist die, daß die großen Gruppen des Pflanzenreichs in der Reihenfolge in den Erdschichten auftreten, wie sie das Pflanzensystem aufführt. Es geht dies unzweideutig schon aus der oben gebotenen Charakterisierung der drei Hauptperioden des Pflanzenreichs hervor. Die ältesten Pflanzen sind Algen; demnächst erscheinen die Pteridophyten, dann die Gymnospermen, dann die Angiospermen. Fossile Pilzreste sind ebenfalls schon aus dem Paläozoikum (Carbon) bekannt, über das wirkliche Alter dieser Parasiten ist aber noch kein Aufschluß zu erlangen. Abweichend verhalten sich dagegen die Moose, die erst mit dem Ende der Kreide-

Digitized by Google

periode und besonders im Tertiär zahlreich erscheinen, mit dürftigen Vorläufern (lebermoosartigen Resten), schon im Keuper oder möglicherweise gar Carbon (näheres S. 413).

2. Geschichtliches. Wie bereits oben bemerkt, sind Pflanzenfossilien bereits seit sehr langer Zeit bekannt. Im Mittelalter und bis über dieses hinaus vertraten viele Gelehrte die Anschauung, daß man es in den Versteinerungen mit Naturspielen zu tun habe (lusus naturae), was natürlich auch die zwar weniger bekannten Pflanzenfossilien betraf, und erst die Genialität eines Leonardo da Vinci, eines Fracastro und Palissy räumte mit dieser Anschauung auf. Man begegnet dann häufiger bei verschiedenen Autoren Beschreibungen von Pflanzenabdrücken, fossilen Holzresten usw., die in ähnlicher umständlicher Weise benannt wurden, wie die alten Botaniker ihre Pflanzen benannten. Von den älteren Werken seien hier nur das Herbarium diluvianum von Scheuchzer (1709) genannt. Um von den weiteren Autoren des 18. Jahrhunderts wenigstens noch einige zu nennen, seien Chr. Fr. Schultze, S. J. Volkmann (Silesia subterranea 1720), Mylius (Saxonia subterranea 1720) und das prächtige Werk von Knorr und Walch, Naturgeschichte der Versteinerungen zur Erläuterung der Knorrschen Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur (1750 bis 1771) erwähnt; neben diesen darf der vielseitige Linné nicht vergessen werden.

Als der Vater der wissenschaftlichen Paläobotanik muß A. Brongniart gelten, dessen Histoire des végétaux fossiles (1828 bis 1838) bereits früher eine Klassifikation (1822) und ein Prodrome (1828) vorausging. Etwas älter sind die Schriften Schlotheims „Merkwürdige Kräuterabdrücke" (1804), Petrefaktenkunde (1820). Ebenso das rein paläobotanische große Werk des Grafen Caspar von Sternberg (Versuch einer geognostischbotanischen Darstellung der Flora der Vorwelt, 1820 bis 1838), an dem Presl und Corda starken Anteil haben. Seit Brongniart ist die Zahl der Paläobotaniker stark angeschwollen; von seinen Nachfolgern oder späteren Zeitgenossen nennen wir Göppert (Breslau), W. Ph. Schimper (Straßburg), A. Schenk (Leipzig), von dem auch der größere und bessere Teil der Paläophytologie in Zittels Handbuch der Paläontologie herrührt. In England betätigten sich in dieser Wissenschaft zur Zeit Brongniarts vor allem Lindley und Hutton (Fossil Flora of Great Britain, 1829 bis 1839). In neuerer Zeit sind als Paläobotaniker von Ruf besonders Solms-Laubach, Zeiller (Paris), wohl der beste Kenner der Steinkohlenflora, Nathorst (Stockholm), Potonié (Berlin), Scott, Seward und Kidston in England zu nennen. Die wichtigsten Werke dieser Autoren sind in der Literaturliste am Schluß zu finden.

3. Art und Erhaltung der fossilen Pflanzen. Die Kenntnis und Beurteilung der Erhaltungsweise der Pflanzenfossilien ist für den Paläobotaniker eine dringende Notwendigkeit, da sich nach ihr die mit den Resten etwa vorzunehmenden Präparationsarten richten. Die gewöhnlichste Erhaltungsform ist die des Abdrucks, die bei dünneren Pflanzenteilen, namentlich Blättern, die Regel ist. Abdrücke entstehen durch Einbettung der abfallenden Pflanzenteile in schlammiges, sandiges usw. Sediment, das ja später erhärtet und zu Sedimentgestein wird. Demgemäß liegen die Pflanzen parallel der Schichtungsfläche der Gesteine. Der Name „Abdruck" stimmt für das zutage tretende Fossil in den meisten Fällen eigentlich nicht. Wenn nämlich, wie in tonigen Gesteinen fast regelmäßig, ein Kohlenrest den Abdruck „überzieht", so hat man keinen Abdruck, sondern die Pflanze selbst in kohligem Zustande vor sich; die Gegenplatte enthält dagegen oft einen wirklichen Abdruck, indem ihr keine Kohle anhaftet und sie also eine Matrize des Fossils enthält. Oft findet man aber keine Spur von Kohlenbedeckung und hat in diesem Fall wirkliche Abdrücke vor sich, von denen der eine z. B. bei einem Blatt der Unterseite, der andere der Oberseite entsprechen würde. Bei feinem Schiefer kann man nicht nur alle Details z. B. der Blattaderung, Behaarung u. a., sondern unter Umständen noch Zellskulpturen (wie bei Farnsporangien) und selbst Spaltöffnungen an den Blättern noch sehen. Bei manchem Gestein kann man die kohligen Pflanzenreste vom Gestein abheben und an ihnen noch die Epidermisstruktur (Spaltöffnungen; auch Pollen, Sporen usw.) öfters fast ebenso schön wie an lebenden Pflanzen beobachten. Zu dem Zweck unterwirft man die Kohlenhäute einem Mazerationsprozeß mit oxydierenden und bleichenden Mitteln (Eau de Javelle; Schultzesches Reagens: $KClO_3+HNO_3$ u. a.) mit folgender Alkalibehandlung.

Auf ähnliche Weise wie die Abdrücke entstehen die sogenannten „Einschlüsse im Bernstein", wo das fossile Baumharz anfliegende Insekten oder Pflanzenteilchen umhüllte. In Wirklichkeit handelt es sich aber nicht um Einschlüsse, da von den eingeschlossenen Objekten trotz der Dichtigkeit des Bernsteins im Laufe der Zeit bis auf wenige Bröckchen alles verwest ist; erhalten geblieben ist nur der Abdruck der Objekte, und zwar wegen der Feinheit des Hüllmaterials bis in die allerfeinsten Details; daher sind die zwar an Zahl nicht großen Blütenreste im Bernstein besonders wichtig, weil sie oft eine unbedingt richtige Deutung

Digitized by Google

zulassen, was man von zahllosen dicotylen Blättern nicht behaupten kann.

In Kalkgestein ist erfahrungsgemäß die Pflanzensubstanz und damit die Pflanze selbst meist nicht erhalten, sondern nur eine Hohlform dieser; man kann hier das ganze Material mit geschmolzenem Wachs oder Paraffin tränken und löst dann den Kalk mit Salzsäure auf, wodurch oft die schönsten Blütenreste gewonnen worden sind, die sich dem Studium sonst entzogen hätten, da ein Zerschlagen des Kalks oft zu höchst traurigen Resultaten führt.

Eine andere Art der Erhaltung ehemaliger Pflanzen bilden die Kohlenlager (Kohlenflöze). Dieselben sind aber für paläobotanische Studien, da alles in homogene Kohle verwandelt ist, nicht nennenswert benutzbar. Jedoch lassen sich einzelne Gewebsteile der Pflanzen in der Kohle leicht nachweisen (vgl. den Artikel „Kohlen").

Eine andere und außerordentlich wichtige Erhaltungsweise von Pflanzenresten bildet die „echte Versteinerung" oder Intuskrustation. Bei der Intuskrustation tritt das sich niederschlagende Mineral an Stelle der verwesenden Zellwände und erfüllt auch deren Hohlräume. Auf diese Weise kann man an dem fertigen Intuskrustat noch zahlreiche, oft sehr feine anatomische Details studieren, wie an lebendem Material, und diese Erhaltung gibt uns demnach ein Mittel an die Hand, die Anatomie von Gewächsen zu studieren, die seit Abermillionen von Jahren nicht mehr existieren. In erster Linie sind zu solcher Erhaltung widerstandsfähige Pflanzenteile (Holz, Farnstämme) geeignet, aber manchmal sind auch empfindlichere Pflanzen oder Pflanzenteile so erhalten. Manchmal sieht man den „echten Versteinerungen" ihre pflanzliche Herkunft ohne weiteres an, wie den bekannten fossilen Hölzern, manchmal treten aber knollenförmige oder ganz formlose Anhäufungen von solchen Pflanzenresten auf, wie in den Kieseln von Autun (Frankreich), den Torfdolomiten (Dolomitknollen, Coal-balls, vgl. den Artikel „Kohlen"), wo oft nichts Aeußeres die versteinerten Pflanzen verrät. Zum Studium fertigt man von diesen Objekten dünne Schliffe, analog den dünnen Schnitten von lebenden Pflanzen, die oft wahrhaft überraschend feine Details noch zeigen (Fig. 28, 5—9).

Williamsons bekanntes Werk „Organisation of fossil plants" beruht auf den oben genannten Torfdolomiten; Renaults Cordaitenforschungen auf Autuner Kieseln. Als Material für die echte Versteinerung kommt Kieselsäure, sowohl als Quarz wie als Opal, in Betracht, ferner Kalk, Dolomit, Sphärosiderit, selten andere Minerale wie Kalkphosphat, Gips, Schwerspat, Pyrit. Die Annahme, daß zur Entstehung der Kieselhölzer heiße kieselhaltige Quellen oder Geysirs nötig seien, ist wohl jetzt allgemein aufgegeben; in vielen Fällen kann man das Gegenteil direkt nachweisen, in anderen ist die Annahme solcher abnormer Verhältnisse überflüssig. Die oft zitierten Stämme aus dem Yellowstone-Park sind nicht echt versteinert, da nur die Zellhohlräume ausgefüllt sind, nicht aber die Zellwände selbst durch SiO_2 ersetzt sind. Daß bei den Pflanzenfossilien so gut wie niemals die ganze Pflanze vorliegt, sondern meist nur ein Teil derselben (Blatt, Stamm, Same) sich für sich allein findet, liegt in der Natur der Sache und erschwert das Studium außerordentlich. Der Paläobotaniker ist dadurch vor die Forderung gestellt, die betreffende Pflanze aus ihren Bruchstücken zu rekonstruieren, eine Aufgabe, deren Lösung von glücklichen Funden abhängt, zum Teil aber auch durch richtige Kombination herbeigeführt werden kann. Indes kann auch die lebende Flora oft zu Analogieschlüssen herangezogen werden. Die vielen Einzelfunde bringen leider für die Wissenschaft einen großen Namenballast mit sich. Eine weitere Komplikation tritt dadurch ein, daß oft ein und derselbe Pflanzenteil, namentlich Stammreste, äußerlich recht verschiedenes Aussehen zeigt, je nachdem die Rindenaußenfläche, der Markkörper oder der Holzkörper oder eine gewisse Rindenpartie (im Abdruck) vorliegt. Diese Erhaltungszustände spielen z. B. bei den karbonischen Lepidophyten eine große Rolle (Fig. 23, 5).

Schließlich wäre hier noch auf ein besonderes Kapitel der Paläobotanik hinzuweisen: die Pseudofossilien oder Scheinfossilien. Eine große Anzahl äußerlich mehr oder minder pflanzenähnlicher Gebilde kommt auf mechanischem, chemischem und anderem Wege zustande; sie sind von einigen Forschern noch bis in die neuere Zeit für Pflanzen angesehen worden (sogar von Schimper in Zittels Handbuch Bd. II). Hierher gehören die bekannten Dendriten und analoge Gebilde; der „älteste Farn" Saportas (Eopteris Morierei) aus Untersilur ist z. B. ein Schwefelkiesdendrit. Knollige Ausscheidungen oder ähnliches wurden für Samen gehalten (Guilelmites Geinitz); Ripple-marks (Wellenfurchen) für Sigillarien, Tange oder gar Palmblätter. Rinn- und Fließspuren (Dendrophycus) sah man als Algen an, die besonders oft zum Vergleich herhalten mußten. So sind zahlreiche zum Teil offenbar auf Wurm- oder sonstige Tierkriechspuren zurückzuführende Gebilde (Crossochorda, Bilobites, manche Fuceiden) als „Algen" noch in dem oben genannten Zittelschen Handbuch beschrieben. Oft werden auch rezente Objekte als Fossilien

Digitized by Google

angesehen, wenn sie, wie z. B. manche Palmensamen („Steinnüsse" von Phytelephas oder Sagus) einigermaßen „fossil" aussehen, und draußen im Freien irgendwo unter unglücklichen Umständen aufgelesen werden. Die Kenntnis der eben nur ganz oberflächlich angedeuteten Pseudofossilien ist für den Paläobotaniker durchaus erforderlich, da ohne diese Kenntnis die allergröbsten und unheilvollsten Täuschungen entstehen können und entstanden sind.

4. Beteiligung der Pflanzen an der Zusammensetzung der Erdrinde. Die phytogenen Gesteine spielen eine ziemlich große Rolle unter den Sedimenten. Daß die Kohlenlager wesentlich oder zum Teil fast ausschließlich pflanzlichen Ursprungs sind, ist bekannt; in die Kategorie dieser brennbaren phytogenen Gesteine gehören auch manche Graphite, namentlich die in Gestalt von Lagern im Archaikum auftretenden, für die man wohl am besten eine Entstehung nach Art der späteren Kohlenlager annimmt. Außerdem tragen aber Pflanzen oft niederer systematischer Stellung zur Zusammensetzung vieler bituminöser Gesteine in den verschiedensten Formationen neben Tierresten bei, wiewohl ihre Anwesenheit mehr durch Analogieschluß als durch tatsächlichen Beweis vermutet wird. Weit stärker als bei der Zusammensetzung der Kohlen und bituminösen Gesteine sind die Pflanzen bei der Bildung von Kalkgestein beteiligt; gewisse Kalkmassen bestehen fast ausschließlich aus den „Gehäusen", den Kalkkörpern von Algen verschiedener Gruppen. Im baltischen Silur sind es Siphoneen (die ältesten überhaupt bekannten sicheren Pflanzen) aus der Dasycladaceenfamilie, Gattungen wie †Cyclocrinus, †Coelosphaeridium, die mächtige Gesteinskomplexe zusammensetzen (weiteres unter 5a „Algen".) Auch die Characeen jüngerer Ablagerungen dürfen hier nicht vergesssen werden. Seit dem Tertiär spielen auch die Bacillarien (Diatomeen) eine Rolle als Gesteinsbildner, indem sie trotz der Kleinheit ihrer Schälchen manchmal bedeutende und industriell wichtige Kiesellager (Kieselgur, Tripel, Bacillarienerde, Diatomeenerde, Bergmehl usw.) aufhäufen.

5. Die wichtigsten Gruppen der fossilen Pflanzenwelt und ihre Hauptvertreter. 5a) Fossile Algen, Pilze und Moose. Die ältesten uns bekannten fossilen Pflanzen gehören zu den Algen; sie stammen aus untersilurischen Schichten. Was aus älteren Schichten als Pflanzenreste angegeben wird, sind Problematika, wie der cambrische Phycodes circinnatus, die cambrischen Eophyten, Fucoiden und dergleichen. Auch im Silur und Devon gibt es noch eine Menge von solchen „Pseudofossilien", wie Bilobiten (wahrscheinlich Kriechspuren), Crossochorda, Vexillum, Spirophyton. Die ersten wirklichen Algenreste aus dem baltischen Untersilur gehören der vielgestaltigen Siphoneen-Ordnung und zwar der Dasycladaceenfamilie an, die nur wenige lebende Arten umfaßt, aber schon im Paläozoikum und besonders in der Trias durch die Massenhaftigkeit des Auftretens die größte Bedeutung hatte. Die fossilen Arten schließen sich an die in warmen Meeren lebenden Arten von Cymopolia, Neomeris und Bornetella an; man kennt von diesen nur die Kalkskelette. Die fossilen Vertreter scheinen Einzelindividuen gewesen zu sein, nicht in Ketten vereinigt wie Cymopolia. Die wichtigsten Vertreter im Silur sind †Coelosphaeridium und †Cyclocrinus, im baltischen Silur und daher oft in Geschieben in Norddeutschland zu finden. In der alpinen Trias setzen Dasycladaceenskelette Hunderte von Metern mächtige Schichten zusammen; hier sind besonders wichtig die Gattungen †Gyroporella und †Diploporella (Fig. 1). Von da an nimmt ihre Bedeutung rapide ab und heute leben nur noch wenige Angehörige der Gruppe.

Von Kalkalgen sind weiter von Bedeutung Codiaceen (†Sphaerocodium schon im Devon, mit Halimeda verwandt), ferner unter den Rhodophyceen die Familie der Corallinaceen durch die eigenartige Gattung Lithothamnion, die in gewissen Tertiärkalken eine gesteinsbildende Rolle spielten (im Paläozoikum Vorläufer?).

Auch die heute ausschließlich Süß- (auch Brack-)wasser bewohnenden Characeen sind fossil von Bedeutung; bei der Zartheit dieser Gewächse — nur Chara ist fossil bekannt — erhalten sich meist nur die widerstandsfähigen Chara-„Kerne" (Oogonien) mit der bekannten Spiralstruktur, die man schon aus jurassischen Schichten kennt, meist von bedeutenderer Größe als die der lebenden Arten und mit verschiedenen Skulpturarten; Stengelglieder und selbst „Krönchen" kennt man nur gelegentlich fossil z. B. aus Pariser Tertiärkalk. Im Paläozoikum (schon im Devon) treten in den sogenannten †Trochilisken in marinen Schichten kleine Körperchen auf (ca. 0,80 mm hoch), die man wegen ihrer charakteristischen Spiralstruktur trotz mancher Abweichungen als Vorläufer der Characeen ansieht; verwandt mit ihnen ist das abweichende †Sycidium.

Fossil von großer Bedeutung sind auch die kieselabsondernden Bacillarien oder Diatomeen. Sie spielen bis zu gewissem Grade auch eine gesteinsbildende Rolle in den jüngeren geologischen Schichten, dem Tertiär und Quartär. Die ältesten Diatomeen, die auch nach der Ansicht von Diatomeenkennern solche sind, finden sich im oberen Lias, wo

Digitized by Google

Rothpletz in verkieselten Hornschwämmen diese auffand (†Pyxidicula).

Von da an finden sie sich erst wieder, aber noch überaus spärlich in der oberen Kreide. Erst im Tertiär treten sie zahlreich auf,zum Teil in lebenden Gattungen und späterauch in vielen lebenden Arten; die reinen Lagerstätten der Bacillarien sind als Bergmehl, Infusorienerde (Ehrenberg), Diatomeenerde, Kieselgur, Tripel bekannt und industriell wertvoll (S. 412). Letztere Gesteine sind übrigens oft mit diatomeenhaltigen Gesteinen, namentlich Sapropelitbildungen verwechselt worden (Ehrenbergs berühmte „Berliner Infusorienerde").

Von sonstigen fossilen Algen spielen noch tangartige eine größere Rolle; ein großer Teil dieser als Fucoiden, Chondriten, †Algacites und anders bezeichneten Reste ist jedoch durchaus problematischer Natur. Im Unterdevon ist von Bedeutung †Haliserites, der auch deutliche Kohlenanhäufungen hinterlassen hat. Fucoidenartige Reste treten in allen möglichen Formationen auf und haben meist wissenschaftlich keinen Wert, da irgend welche Fortpflanzungsorgane nicht bekannt sind und die Schlüsse sich nur auf den Habitus gründen.

Erwähnenswert sind aber noch die als †Reinschia und †Pila bezeichneten, mit Hydrodictyaceen in Verbindung gebrachten Algen, die einen großen Anteil an der Zusammensetzung der fossilen (paläozoischen) Cannel- und Bogheadkohlen gehabt haben (vgl. den Artikel „Kohlen").

Viel kann man auch nicht über die fossilen Pilze sagen. Die ältesten Spuren dieser Schmarotzer finden sich schon im Paläozoikum, wo man auf Blättern befindliche Pusteln (†Excipulites bei †Callipteris) als Pilze ansprechen zu können glaubt. Sicherer sind die Anhalte, die echt versteinerte Reste bieten, z. B. in Holzresten, in denen man trotz der Feinheit die Hyphen, auch Sporen von Pilzen erhalten findet; so hat Oliver vor einigen Jahren einen Pilz aus der Steinkohlenformation nachgewiesen. Aus dieser Periode gab auch Renault seine zahlreichen „Steinkohlenbakterien" an, die aber wohl sämtlich auf Mißdeutungen anorganischer Körperchen beruhen (vgl. den Artikel „Kohlen"); von anderen Forschern sind z. B. in Coprolithen des Weald Bakterien angegeben worden. Vom späteren Mesozoikum ab werden Pilzhyphen in Holzresten häufiger, und man beobachtet hier ihre holzzerstörende Wirkung ähnlich wie im Tertiär und heute. Besonders genau hat Conwentz die Pilzwirkungen an den baltischen Bernsteinbäumen untersucht; auch sonst zeigen die Braunkohlenhölzer sehr oft Spuren von Pilztätigkeit. Außerst selten finden sich Reste von Pilz-„Hüten", die auch im besten

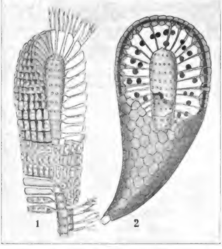


Fig. 1. 1. Triploporella, Kalkalge. Aus der Dasycladeen-Verwandtschaft. Rekonstruiert. Nach Steinmann. 2. Bornetella, verwandte rezente Dasycladee. Aus Lotsy.

Falle einer genügenden Deutung nicht fähig sind. Häufiger sind Blattpilze im Tertiär, wo Sphaeria, †Xylomites und andere nur auf Grund des Außeren mit den lebenden Formen verglichen werden.

Einen dunklen Punkt bildet für die Paläobotanik wie auch für die Botanik die Prähistorie der Moose. Einfacher organisiert als die Farne, die manche Botaniker von den Moosen ableiten, sollten sie schon im Paläozoikum auftreten; dies ist aber nicht der Fall. Es ist bis jetzt noch kein sicherer paläozoischer Moosrest nachgewiesen worden. Die ältesten Moose sind anscheinend, wie dies auch zu erwarten, die Lebermoose. Nach Kidston sollen Reste davon schon im Untercarbon vorkommen; ein Rest (†Palaeohepatica Racib.) aus dem mittleren Keuper von Galizien und solche aus dem Wealden dürften weniger Zweifeln begegnen. Zahlreich sind solche wie auch andere Moose (Laubmoose)

Digitized by Google

aus dem Tertiär und in trefflichster Erhaltung aus dem Bernstein bekannt. Laubmoose (Musci frondosi) sind überhaupt erst seit dem Tertiär oder der oberen Kreide bekannt. Nach allem, was wir also wissen, ist das Auftreten der Moose in weit spätere Perioden zu setzen als das der Farne, und daher steht eine Ableitung dieser von den Moosen mit den paläontologischen Tatsachen in unlösbarem Widerspruch.

5b) Fossile Pteridophyten. Sämtliche heutigen lebenden Gruppen (Filicales, Lycopodiaceen, Selaginellaceen, Hydropterides, Equisetaceen) sind auch fossil bekannt, spielen aber in der fossilen Pflanzenwelt eine meist nur geringe Rolle bis auf die eigentlichen Farne. Außerdem aber treten im Paläozoikum große baumförmige Gewächse auf, die †Lepidophyten und †Calamarien, die am ehesten mit den Lycopodiaceen, auch mit den Selaginellen bzw. mit den Equiseten in Verbindung zu bringen sind, aber eine ganze Reihe von Eigenheiten aufweisen, die ihnen den Platz selbständiger Reihen sichern. Im Anschluß an die eigentlichen Farne sollen auch die der Darstellung nach von diesen bis auf weiteres nicht zu trennenden mit halb gymnospermen-, halb pteridophytenartigen Charakteren behafteten Gruppen der †Cycadofilices und †Pteridospermen erwähnt werden.

a) Filices. Die Farne gehören mit zu den ältesten Pflanzenfossilien, die wir kennen. Sehen wir von den angeblich silurischen Funden, deren Alter zweifelhaft ist, ab, so treten sie schon unter den wenigen Pflanzen oberdevonischer Fundstellen zahlreich hervor, ja vielleicht schon in der mitteldevonischen Flora von Böhmen. Schon in der unmittelbar auf das Oberdevon folgenden Culmperiode nimmt die Farnwelt einen gewaltigen Aufschwung, um dann in der eigentlichen (produktiven) Steinkohlenperiode eine vordem nicht geahnte Mannigfaltigkeit zu entwickeln. Aber schon im Rotliegenden ebbt diese Fülle stark ab, und im Mesozoikum haben wir zwar immer noch eine Menge zum Teil sehr eigenartiger Farne, sie haben aber die überragende Position im Paläozoikum an die Gymnospermen abgetreten. Mit dem Känozoikum der Pflanzenwelt nimmt ihre Bedeutung weiter ab.

Die Zahl der fossilen Farne ist groß, nur die wichtigsten Typen können hier angeführt werden. Die Systematik der fossilen Farne geht auf Ad. Brongniart zurück und kann sich leider nur zum Teil auf ähnliche Grundlagen stützen wie die der lebenden Farne. Es ist nur eine beschränkte Anzahl von Farnen mit Sporangien oder Sori erhalten geblieben, und oft kann man, auch wenn dies der Fall ist, nicht mehr die nötigen Details herausbringen. Brongniart zog daher in erster Linie die sterilen Wedelteile heran und gruppierte diese nach der Aderung, der Anheftungsweise der Blättchen (Fiederchen). Später ist dann dies System weiter ausgebaut worden durch Heranziehung von Eigentümlichkeiten des Wedelaufbaues (ob gabelig, ob fiederig usw.), und anderer sich

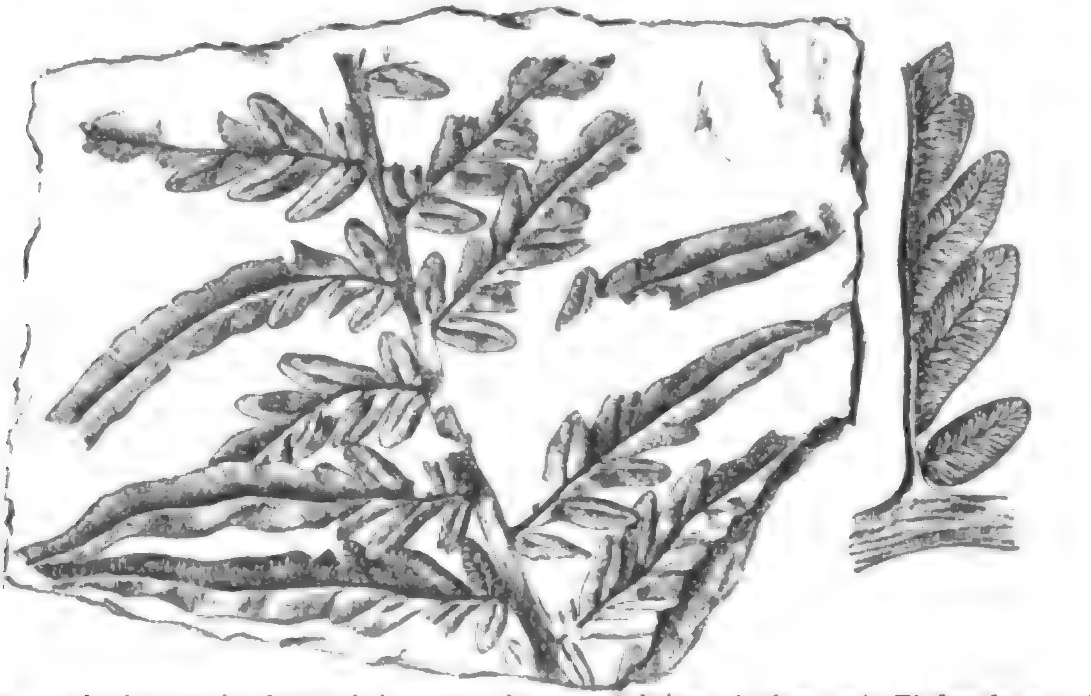


Fig. 2. Alethopteris Potoniei. Aus dem produktiven Carbon, mit Fiederaderung.[1])

[1]) Die Klischees zu dieser und einer Reihe der folgenden Figuren hat die Direktion der Kgl. Geol. Landesanstalt freundlichst zur Reproduktion geliehen, wofür hier der beste Dank ausgesprochen sei.

Digitized by Google

jeweils bietender Eigenheiten gewisser Gruppen. Trotz der Künstlichkeit dieses „Systems“ sind doch dadurch eine Anzahl Gruppen, Gattungen usw., gewonnen worden, die wohl „natürlichen“ Gattungen entsprechen. Solche Gattungen wie †Neuropteris, †Lonchopteris, †Alethopteris, †Callipteris u. a. machen durchaus den Eindruck natürlicher Gattungen. Von mehreren Autoren, wie Göppert und besonders Stur, ist später versucht worden, die fossilen Farne nach „natürlichen“ Prinzipien zu gruppieren; bei einem Teil derselben geht dies auch, bei den nur steril bekannten ist man aber oft auf sein Gefühl angewiesen, und dies trifft leider nicht immer das Richtige.

Wir werden zunächst dieses Brongniartsche, jetzt erweiterte System kurz besprechen, und dann die auf „natürliche“ Merkmale gegründeten fertilen d. h. Sori- und Sporangien tragenden Typen behandeln.

1. Sterile Farnreste. Man unterscheidet hinsichtlich der Aderung:

a) Fächer- (oder Parallel-) aderung: alle Adern annähernd gleich stark, durch (mehrfache) Gabelung verzweigt, Mittelader nicht ausgebildet (Typus etwa das Ginkgo-Blatt; s. Fig. 32 a).

b) Fiederaderung: Mittelader ausgebildet, meist stärker als die einfachen oder gegabelten Seitenadern (Typus von Fig. 2).

c) Maschen- (Netz-) aderung: Wie vorher, aber Seitenadern untereinander zu mehr oder minder engen Maschen anastomosierend (Typus von Fig. 3).

d) Zusammengesetzte (Doppel-) Maschenaderung. Die anastomosierenden Seitenadern successive feiner werdend, die engsten Maschen von den feinsten Adern umschlossen: mesozoische Farne: †Clathropteris usw.; Typus der dicotylen Laubblätter).

Es ist interessant, daß die Blattaderungstypen in der oben aufgeführten Reihenfolge vom Einfachsten zum Komplizierteren (und Vorteilhafteren) im Laufe der geologischen Perioden auftreten. Im Oberdevon finden wir ausschließlich Farne mit Fächeraderung, und im Kulm herrschen diese noch vor; im Kulm tritt dagegen erstmalig und unter-

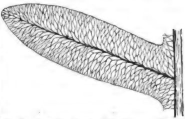


Fig. 3. Lonchopteris silesiaca. Einzelblättchen, in $^4/_1$, mit Maschenadern.

geordnet Fiederaderung auf. Erst im mittleren produktiven Carbon treten Farne mit

Fig. 4. Pecopteris pennaeformis. Aus dem mittleren produktiven Carbon. Typus einer echten Pecopteris.

Maschenaderung auf (†Lonchopteris, †Linopteris); erst im Rhät tritt der Typus der Doppelmaschenaderung auf, die im Prinzip schon die Aderung der späteren Dicotylenblätter haben (auch mit ihnen verwechselt wurden), die aber erst in der (oberen) Kreide erscheinen

Hinsichtlich der Anheftungsweise der Blättchen (Fiedern) der Farne unterscheidet man:

Digitized by Google

1. Sphenopteridische Anheftung (keilfarnähnliche), d. h. die Blättchen sind nach der Basis allmählich eingeschnürt; ihre Form ist im übrigen sehr verschieden, rund, eiförmig, rein keilförmig, schmal-keilförmig, und im Anschluß daran schließlich auch schmallinear (Fig. 6, 8, 10).

2. Pecopteridische Anheftung (πεκω ich kämme, wegen der Kammform vieler Pecopterisarten) d. h. mit voller Breite an der Achse angeheftet (Fig. 4).

3. Neuropteridische Anheftung. Die Blättchen (der Form nach meist zungenförmig bis rund) sind an der Basis plötzlich verschmälert und sitzen nur mit einem kleinen Punkte an der Spindel fest, sind daher sehr abfällig und meist oder oft einzeln zu finden (Fig. 5).

Fig. 5. **Neuropteris Schlehani.** Typus einer **Neuropteris.** Aus dem mittleren produktiven Carbon.

Daneben spielt noch der Aufbau der Wedel eine Rolle. Dieser kann sein: 1. rein fiederig, wie Figur 5, 2. Einfach gabelig, 3. Diplotmematisch (διπλους doppelt, τμημα Schnitt), wie Fig. 6. Das Fußstück erscheint einmal gabelig; die sehr kurzen und gleich dem Fußstück nackten Gabelstücke sind dann noch einmal gegabelt; Uebergänge zu 2. vorhanden. Viele carbonische Farne (†Mariopteris, daher auch mariopteridischer Aufbau) sind diplotmematisch. Ferner kann der Wedel Zwischenfiedern haben, d. h. die zwischen den „Seitenzweigen" der Wedel befindlichen Spindelstücke sind ebenfalls mit Fiedern besetzt († im Paläozoikum sehr häufiger, heute fast gänzlich fehlender Typ; Fig. 7).

Fig. 6. **Sphenopteris (Diplotmema) westfalensis.** Aus dem mittleren produktiven Carbon.

Hiernach sind folgende Gruppen unterschieden worden:

I. †Archaeopteriden. Fiedern ziemlich groß, sphenopteridisch oder neuropteridisch, durchweg fächeradrig. Verbreitung nur im Oberdevon und Kulm (auch noch im tiefsten produktiven Carbon). †Archaeopteris (Wedel rein fiederig, Fiedern rhombisch, entweder ganz oder vollständig zerschlitzt), fast allein im Oberdevon. †Sphenopteridium, im äußeren †Sphenopteris (siehe

Digitized by Google

später) ähnelnd, aber größer; Wedel (soweit bekannt) sämtlich einmal gabelig. †Cardiopteris, Fiedern groß, rund bis herzförmig, neuropteridisch (wie die vorige im Kulm häufig). †Adiantites, †Rhacopteris und andere.

II. Sphenopteriden. Sehr große, artenreiche und z. T. sehr schwierige Gruppe. Fiedern rund, oval, keilförmig bis schmallineal, am Grunde meist allmählich verschmälert. Hierher z. B. †Sphenopteris (von Brongniart und auch heute noch von vielen Autoren im weiteren Sinne gefaßt und die meisten der folgenden Gruppen einbegreifend) im engeren Sinne; Fiedern rundlich; Wedel meist fiederig. Im Kulm beginnend; Formen, die hierher gehören, fast in allen Formationen. Im Carbon ist häufig z. B. †Sphenopteris obtusiloba, Sauveuri, trifoliolata und andere.

†Alloiopteris. Die Seitenzweige der Wedel sind sehr lang und parallelrandig (Figur 9, 1. 2); diese sehr natürliche Gruppe ist auch in einer Reihe von Spezies fertil (mit Sori) bekannt, die sämtlich zum †Corynepteris-Typus gehören (siehe S. 422). Unteres, meist mittleres produktives Carbon.

†Rhodea. Fiedern schmallineal. Kulm und Prod.-Carbon (†Rhodea Stachei).

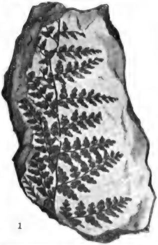
†Palmatopteris. Fiedern lineal-lanzettlich, palmatstehend; Aufbau diplotmematisch. Unteres bis mittleres Prod.-Carbon (Fig. 10).

†Diplotmema (Fig. 6). Wesentlich nur auf den Aufbau des Wedels gegründet (siehe oben), mit Uebergängen zu †Mariopteris. Die Arten dieser recht natürlichen Gattung gehören zu den häufigsten des Carbons (†Mar. muricata, acuta und andere). Sie beginnt im unteren Prod.-Carbon, tritt in großen Massen im mittleren auf, das sie nicht übersteigt (Fig. 11).

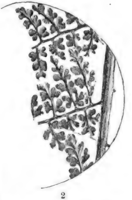
III. Pecopteriden. Fiedern mit ganzer Breite ansitzend, Aderung fiederig, maschig oder fächerförmig. Im Kulm und unteren Prod.-Carbon sehr selten, häufig im mittleren, gemein im oberen Prod.-Carbon und Rotliegenden. Auch in späteren Formationen noch viele Formen.

†Pecopteris. Aederung streng fiederig (Fig. 4) Fiedern parallelrandig (wie Figur 4), seltener dreieckig oder noch anders gestaltet. Viele Arten im oberen Prod. und Rotliegenden, weniger im Prod.-Carbon, sehr dürftig im Kulm. Viele

Fig. 7. Callipteris conferta, Charakterpflanze des Rotliegenden. Spindel mit Zwischenfiedern.



1



2

Fig. 8. Zwei Sphenopteris-Formen. 1. Sphenopteris Laurenti, 2. Sph. Sauveuri, aus dem mittleren produktiven Carbon.

Digitized by Google

Arten sind fertil bekannt (zu †Asterotheca, †Dactylotheca, †Senftenbergia und noch anderen, siehe S. 421). †Pecopteris arborescens, Miltoni, plumosa und andere mehr.

†Alethopteris (Fig. 2). Fiedern meist deutlich herablaufend, immer mit Nebenadern. Sehr natür-

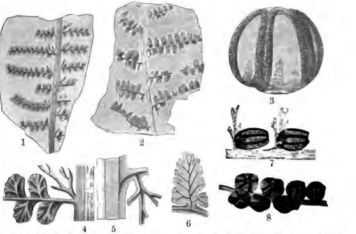


Fig. 9. Alloiopteris-Arten (2, 5, 6 All. quercifolia, Unt. Prod. Carbon; Fig. 2 und 5 stehen verkehrt!) mit dem zugehörigen fertilen Corynepteris-Typus (Fig. 3, 7, 8). In Fig. 4 und 5 abnorme („aphleboide") Fiederchen. Aus Lotsy.

liche und im mittleren (selten unteren) Prod.-Carbon gemeine Gruppe, bis zum Rotliegenden gehend. †Alethopteris Serli, Davreuxi, decurrens häufigste Carbonformen; †Alethopteris Grandini noch im Rotliegenden.

†Odontopteris. Wie Alethopteris, aber mit Fächeraderung. Meist im oberen Prod.-

Fig. 10. Palmatopteris furcata aus dem mittleren produktiven Carbon.

Carbon und Rotliegenden. †Odontopteris subcrenulata, minor, und andere mehr.

†Callipteridium. Wie †Pecopteris, aber mit Nebenadern und Zwischenfiedern. Nur im oberen Prod.-Carbon und im Rotliegenden; †Callipteridium pteridium, gigas.

Angeschlossen sei hier die besser als besondere Gruppe aufzufassende †Callipteris. Umfaßt †Alethopteris- und †Sphenopteris-ähnliche Formen, mit fiederigem Aufbau und Zwischenfiedern (Fig. 7, 12). Bis auf einen Nachläufer im Kupferschiefer (Zechstein) ausschließlich im Rotliegenden und dessen wichtigstes Leitfossil (ca. 20 Arten). †Callipteris conferta (sehr verbreitet; Fig. 7), Callipteris lyratifolia, curretiensis und andere.

†Lonchopteris (Fig. 3). Wie †Alethopteris, deren Formen die einzelnen Arten oft äußerlich zum Verwechseln imitieren, aber mit Maschenadern.

†Weichselia, eine im Neocomsandstein häufige Art, imitiert äußerlich eine †Pecopteris, hat aber ebenfalls (sehr feine) Maschenadern.

Anschließend seien noch einige wichtige mesozoische Gattungen genannt.

†Thinnfeldia, im Rhät-Lias stellenweise häufig oder gar gemein, umfaßt dickblätterige, zarталerige, alethopterisartige Formen mit meist einfacher Fiederung des Wedels. Systematische Stellung (Farn?) unsicher.

†Lomatopteris des weißen Jura erinnert durch Zwischenfiedern und im Habitus an †Callipteris conferta, hat aber sehr dicke Blätter und einen hervortretenden Blattrand.

†Cycadopteris hat einen ähnlichen Blattrand, anscheinend keine Zwischenfiedern, dicke

Digitized by Google

Seiten-„Adern"; sonst der vorigen ähnlich, aber mit ganz anderer Blattstruktur. Hier und da im Lias und Braunjura.

Mehr an Cycadophyten erinnert †Ctenopteris (Vorkommen wir die vorige), gewissermaßen eine †Odontopteris mit Zwischenfiedern. Noch mehr Cycadophyten-ähnlich ist †Ctenis (Rhät-Jura), wie ein breites Pterophyllum mit sehr langgestreckten Maschenadern aussehend.

Eine wichtige Gruppe bilden die äußerlich leicht kenntlichen †Cladophlebis-Arten; es sind großfiederige Pecopteriden mit dreieckigen Blättchen, die vielorts vom Rhät bis zum mittleren Jura gemein sind. Auch fertil sind einige bekannt, von denen die wichtigen sich von Todea, einer lebenden Osmundaceengattung, nicht trennen lassen. Ueber die zu der Matoniaceenfamilie gerechneten doppelmaschenadrigen Farne s. unter den fertilen Gruppen (S. 423).

IV. Neuropteriden. Fiedern zungenförmig bis rund, meist mit Mittelader, nur mit einem kleinen Punkt an der Achse angeheftet, an der Basis meist herzförmig, gefiedert oder ungefiedert. Aderung fiederig oder maschig.

A. Aderung fiederig.

†Neuropteris. Es lassen sich leicht zwei Gruppen unterscheiden. a) unpaargefiederte. Hierher sehr häufige Carbontypen, wie †Neuropteris heterophylla, Schlehani (Fig. 5) und andere mehr. b) paariggefiederte, die gleichzeitig stets Zwischenfiedern haben. Ebenfalls sehr häufige Carbontypen wie †Neuropteris gigantea, aber weit weniger artenreich als vorige Gruppe.

†Neuropteridium nennt man einfach fiederige Neuropteris-ähnliche Arten des Buntsandsteins. (†Crematopteris ist vielleicht der fertile Wedel dazu).

†Taeniopteris (Bandwurmfarn) nennt man wie Scolopendrium meist ungefiederte Blätter, die sich bei ihrer Länge meist nur in Bruchstücken finden. Sie erreichen ihre Blüte erst im Mesozoikum (bis zum mittleren Jura), wo wahrhaft gigantische Formen von mehr als Fußlänge und fast ½ Fuß Breite auftreten (Macrotaeniopteris). Einige von ihnen stehen der lebenden Gattung Marattia durch ihre Sori so nahe, daß man sie dazu rechnet (Marattia Münsteri des Jura); die meisten sind nur steril bekannt.

Hier sei auch †Pseudodanaeopsis (=†Danaeopsis Heer) des mittleren (unteren) Keupers genannt, die gewissermaßen eine einmal fiederige Taeniopteris ist. Etwas Aehnliches kann man

Fig. 11. Mariopteris muricata, meist gemein im mittleren produktiven Carbon. ½.

Digitized by Google

auch von der aber wieder einen Typus für sich bildenden †Desmopteris des mittleren Prod.-Carbon sagen.

B. Aderung maschig.

Hierhin gehört zunächst †Linopteris (†Dictyopteris), genau wie †Neuropteris, aber mit

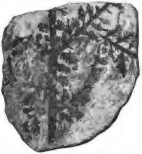


Fig. 12. Callipteris Raymondi, mit Sphenopteris-Charakter. Rotliegendes.

Maschenadern (Fig. 13). Vom mittleren produktiven Carbon an bis ins Rotliegende. Sehr wichtig sind die hierher gezählten †Glossopteriden, deren Gattungen †Glossopteris und †Gangamopteris im ganzen †Taeniopteris-Arten ähneln, aber ebenfalls Maschenaderung zeigen, erstere mit, letztere ohne Mittelader. Sie charakterisieren durch ihre Anwesenheit die danach benannte Glossopteris-Flora Indiens, Australiens, Süd-Afrikas, Süd-Amerikas, die einen von unserem Permocarbon und -Trias abweichenden floristischen Charakter haben (siehe am Schluß unter Allgemeines). †Gangamopteris ist permocarbonisch, während †Glossopteris im Perm beginnend sich bis in die Trias hinein verfolgen läßt.

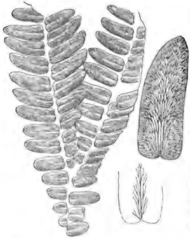


Fig. 13. Linopteris obliqua, maschenadrige Neuropteride des mittleren produktiven Carbon. Nach Potonié.

Zu den Farnen gehören auch die sogenannten Aphlebien. Es sind oft ziemlich große, sich fast immer einzeln findende und nur selten noch im Zusammenhang mit Farnen auftretende gelappte bis zerschlitzte Blätter; sie scheinen meist an der Basis der Seitenfiedern oder des Gesamtwedels gesessen zu haben. In den Fällen wie Abbildung 14 sitzen sie paarweise am Grunde

Fig. 14. Pecopteris plumosa aus dem mittleren produktiven Carbon mit Aphlebien. Nach Potonié.

der Seitenfiedern, die sie im (eingerollten) Jugendzustande wie zwei schützende Hände umfaßten. Bei anderen Formen treten an der Basis der Seitenfiedern nach unten (seltener nach oben) gerichtete kleinere abweichende und mit den gewöhnlichen Fiedern durch Uebergänge verbundene aphlebienähnliche Fiederchen auf, die man deswegen „aphleboide" genannt hat, so bei manchen Sphenopteriden (†Sphenopteris Karwinensis Stur, †Sphenopteris Matheti Zeill., †Alloiopteris-arten, Fig. 9 u. a. m.). Bei (†Odontopteris u.) †Neuropteris-Arten hat man in günstigen Fällen am Grunde des Gesamtwedels runde, große, fächeraderige Blätter ansitzend gefunden, die man als †Cyclopteris bezeichnet,

Digitized by Google

und die vielleicht aphlebienartige Funktion hatten. Meist findet man sie losgerissen und isoliert.

2. Fertile Farnreste. Obwohl fertile, d. h. mit Sori erhaltene fossile Farne zahlreich bekannt sind, gibt es gerade unter den Steinkohlen„farnen“ eine ganze Reihe von solchen, die niemals auch bei sonst größter Häufigkeit mit Spuren von Sporangienresten gefunden worden sind. Hierher gehören †Mariopteris, †Neuropteris, †Linopteris, †Callipteris, †Callipteridium, †Alethopteris, †Lonchopteris, † Odontopteris, viele Sphenopteriden u. a. m. Dem entgegen zeigen manche Gruppen wie †Pecopteris außerordentlich häufig Sori. Für die genannten, fertil bekannten Gruppen nahm schon Stur an, daß sie gar keine „Farne“ seien; in neuerer Zeit ist man zu der Ansicht gekommen, daß dies auch nicht der Fall ist, daß vielmehr samentragende Gewächse vorliegen. Wir werden über diese Verhältnisse, die in den letzten Jahren die Paläobotaniker lebhaft beschäftigt haben, nachher Näheres hören, zunächst aber die wichtigsten auf fertile Reste gegründeten „natürlichen“ Farngattungen besprechen.

Auffällig ist bei den fertilen paläozoischen Farnen, daß sich die meisten Typen als zu den eusporangiaten Farnen gehörig erwiesen haben d. h. ihre Sporangienwand ist mehrzellschichtig; erst später scheinen die heute überwiegenden leptosporangiaten Farne das Uebergewicht bekommen zu haben. Dies Ueberwiegen der Eusporangiaten rührt von der großen Zahl der fossilen Marattiaceen im Carbon her, einer heute weniger wichtigen Farnfamilie der Tropen und Subtropen. Die meisten Carbonfarne werden als Marattiaceen angesprochen, neben denen bei Osmundaceen und Gleicheniaceen (auch Schizäaceen ?) ähnliche Sporangien vorkommen. Die jüngste Familie sind wohl die heute wichtigsten Polypodiaceen; Schizäaceen kamen wohl schon im unteren Jura vor (†Klukia Raciborski); das Alter der Hymenophyllaceen, an die manche paläozoischen Reste erinnern, ist unbestimmt. Osmundaceen waren ferner im Rhät wohl sicher vorhanden (manche †Cladophlebis gehören wohl sicher zu Todea, einer noch lebenden Osmundacee); seit der Kreide kommen auch Osmundaceenstämme vor (†Osmundites).

Die Gruppierung der paläozoischen fertilen Farne erfolgt gewöhnlich nach dem Besitz oder Fehlen eines Ringes an den Sporangien. Die wichtigsten sind die folgenden:

I. Sporangien ringlos.

†Renaultia. Kleine runde Einzelsporangien sitzen zu mehreren am Ende der Adern nahe dem Blattrand. Bei manchen Sphenopteris-Arten.

†Dactylotheca. Aehnlich der vorigen,

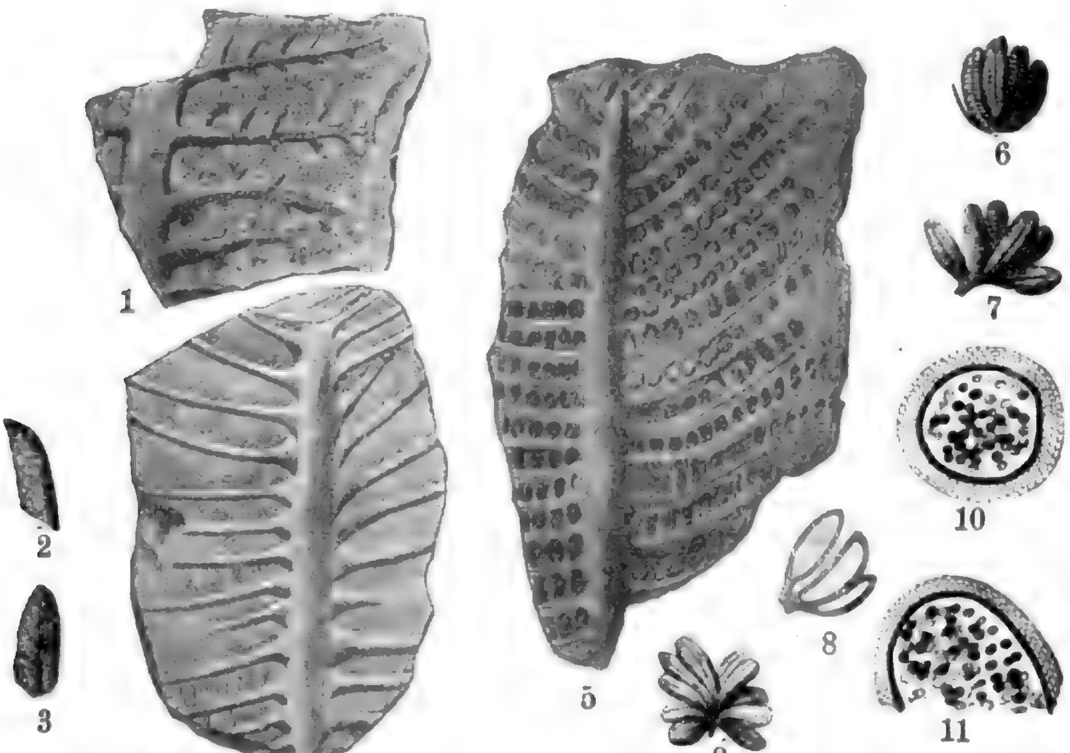


Fig. 15. Zygopteris. 1. Wedel mit Sori. 4. Unterer Wedelteil. 5. Jüngerer Wedel. 6 bis 9 Sporangien. 10 und 11 dieselben im Querschnitt, auch die mehrzellschichtige Sporangiumwand zeigend, mit Sporen. Aus Lotsy. Nach Renault.

Digitized by Google

aber Sporangien lang-eiförmig, vorn spitz (Pecopteris plumosa).

†Sphyropteris. Bei den hierhergehörigen Sphenopteris-Arten sitzt am Gipfel der Fiederchen ein „Querbalken", der die Sporangien auf der Unterseite trägt.

†Discopteris. Sorus halbkugelförmig, aus zahlreichen runden Einzelsporangien bestehend, in einer kleinen Schüssel an einem Stielchen sitzend.

†Urnatopteris. Bei diesem Typus, der †Sphenopteris tenella Englands angehörig, wird die ganze Spreite in abweichend aussehendes Sporophyll verwandelt (wie bei Osmunda). Die Sporangien sitzen in 2 Reihen dicht gedrängt an den Achsen und sind länglich, ellipsoidisch.

†Crossotheca. Auch hier findet gänzliche Umwandlung der Spreite in Sporophyll statt, wobei jedes Fiederchen in einen handbürstenförmigen Sporangienträger umgewandelt wird.

†Asterotheca. Sporangien kurz, zu einem sternförmigen meist 4 bis 5 teiligen Sorus verwachsen. Dies ist der fertile Typus der meisten echten †Pecopteris-Arten.

2. Sporangien mit Ring.

†Zygopteris. Ganzer Wedel nur fertil bekannt; die Sori bestehen aus großen, länglichen, zu 5 bis 15 gebüschelten Sporangien mit vollständigem Längsring. Hierzu gehören die unter dem gleichen Namen bekannten †Zygopteris-Stämme mit)—(-förmigem Leitbündel.

†Corynepteris (der vorigen nahestehend). Spreite ganz in Sporophyll umgewandelt. Sporangien mit vollständigem Längsring, um ein Zentrum radial angeordnet, die Ringe sich gegenseitig an der Ringzone berührend (†Alloiopteris-Arten, Fig. 9).

†Senftenbergia. Bei einigen Pecopteris-Arten sitzen große Einzelsporangien in je einer Reihe beiderseits der Mittelader; die Sporangien haben eine aufgesetzte Kappe wie der Ring bei den Schizäaceen, jedoch ist die Kappe nicht scharf abgesetzt. Aehnlich sind die als †Klukia und †Cladotheca bezeichneten mesozoischen Typen.

†Oligocarpia. Mit rudimentärem Ring versehene Sporangien zu 3 bis 5 zusammensitzend, einen etwa kegelförmigen Sorus bildend. Bei Sphenopteris-Arten zuweilen vorkommend (†O. Brongniarti).

3. Sporangien nicht näher bekannt.

Die wichtigsten hierhergehörigen Typen sind:

†Calymm(at)otheca. Der ganze Wedel in Sporophyll umgewandelt. Sori groß, endständig, aus sternförmig angeordneten länglichen, längs aufspringenden Sporangien bestehend. Ziemlich sicher z. B. zu †Sphenopteris Stangeri Stur des unteren Prod.-Carbons gehörig; welchen anderen Arten ein ähnlicher Typus zukommt, unklar.

†Zeilleria. Fertile Spreite nicht verändert, im übrigen zu recht verschiedenen Sphenopteriden gehörig. Sporangien klein,

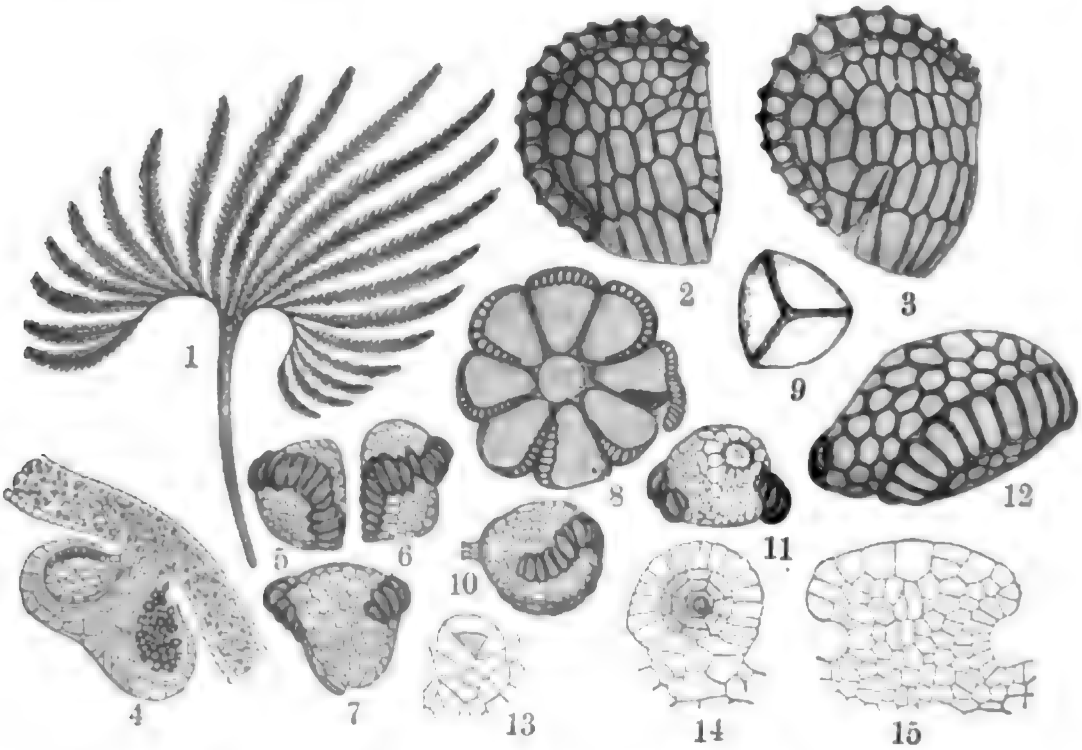


Fig. 16. 1 Blatt von Matonia pectinata. 2 3 12 Sporangien von verschiedenen Seiten, 9 Spore. 4 Längsschnitt durch den Sorus. Nach Diels. 5—8 10 11 13—15 Entwickelung der Sporangien. Nach Bower. Aus Lotsy.

Digitized by Google

etwa von der Form einer Schneeglöckchen-(Galanthus-)blüte, nicht bis zum Grunde aufspringend, gipfelständig am Ende der Fiedern und deren Lappen oder an den verlängerten Aderenden (†Zeilleria avoldensis, Frenzli u. a.).

Zu den wichtigsten Gruppen des Mesozoikums (vom Rhät ab, selten schon im mittleren Keuper) gehören die zahlreichen jetzt zu den Matoniaceen gerechneten Farntypen des Mesozoikums, mit ähnlichem (fußförmigem) Wedelaufbau wie die lebenden Arten der Gruppe. Am wichtigsten sind die folgenden.

I. †Laccopteris. Aderung fiederig bis einfach maschig, fein. Wedelform ungefähr an die des Matoniawedels von heute (Fig. 16) erinnernd, aber großblättriger. Sporangien mit Ring, wie Fig. 16, 4, 8 gruppiert. Rhät bis Wealden.

†Matonidium. Recht ähnlich der heutigen Matonia pectinata, aber Blatteile weniger zahlreich. Wealden-Neocom. In der oberen Kreide kommt Matonia selbst vor.

II. Gruppe der doppelmaschenaderigen Farne. Ohne hier auf die Gattungsunterschiede einzugehen, seien nur die wichtigsten genannt. †Dictyophyllum, †Clathropteris und †Thaumatopteris, der sich noch die höchst sonderbare †Camptopteris mit spiraliger Wachstumsform anschließt (Fig. 17). Die Gruppe hat eine ähnliche Lebensdauer wie die erste; im Wealden erlischt sie, sofern nicht die lebende Dipteris aus der Matoniaceengruppe direkt in die fossile Gruppe gehört. Diese Gruppe hatten wir schon wegen ihrer eigenartigen Aderung früher erwähnt (S. 419). Die fertilen Exemplare zeigen die ganze Unterseite von ringtragenden Sporangien bedeckt, die zu ringförmigen Sori gruppiert sind (wie bei Matonia).

Die Pteridospermenfrage.[1]) Es erübrigt noch, für die ständig ohne Sporangienreste sich findenden Gattungen †Neuropteris, †Callipteris, †Lonchopteris, †Alethopteris usw. das über ihre vermutliche Fortpflanzungsart bekannte darzulegen. Man bemerkte an echt versteinerten Stengel- und Stammresten des Carbons und Rotliegenden vielfach gymnospermenhafte Charaktere, namentlich Vorhandensein eines sekundären Dickenwachstums, und die zwischen Gymnospermen und Filicinen gewissermaßen vermittelnden Typen, die wie †Medullosa namentlich an Cycadeen erinnerten, führte zur Aufstellung der provisorischen Gruppe der †Cycadofilices. Für die besonders Cycadeen ähnlichen †Medullosa-

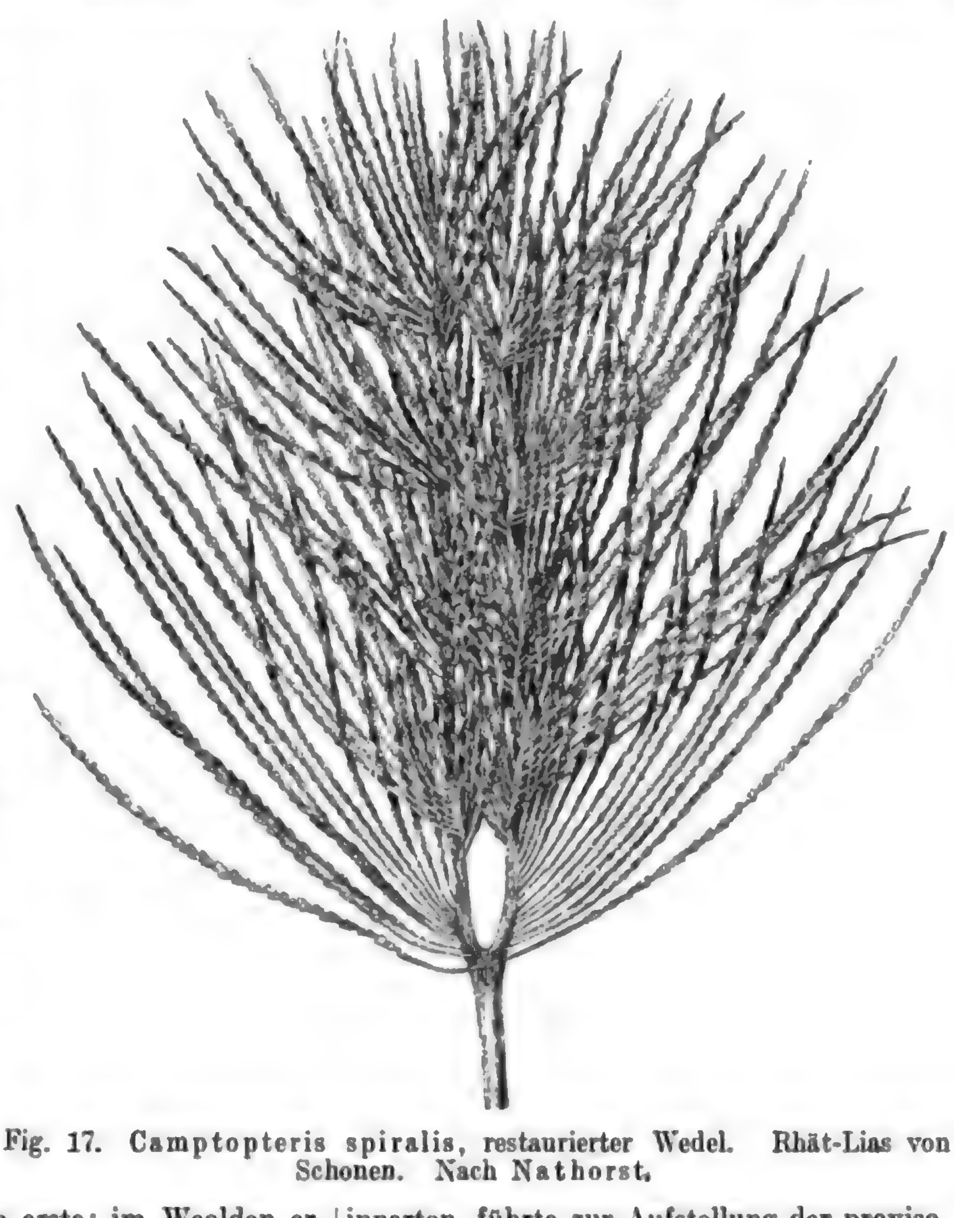


Fig. 17. Camptopteris spiralis, restaurierter Wedel. Rhät-Lias von Schonen. Nach Nathorst.

[1]) Näheres auch bei: Fossile Zwischengruppen zwischen Farnen, Gymnospermen usw.; die dort entwickelten Ansichten teilt der Verfassers des vorliegenden Artikels aber nur zum Teil.

Stämme nehmen einige Forscher einen Zusammenhang mit †Alethopteris an, also einem jener Pseudofarne, und interessant ist weiter, daß als die Zweige von †Medullosa die unter dem Namen †Myeloxylon (†Myelopteris) bekannten mehr farnhaften Spindelstücke gelten. Zu den †Cycadofilices gehören dann auch die als †Lyginopteris †(Lyginodendron), †Cladoxylon bezeichneten Reste u. a. m. In ein weiteres Stadium trat die Frage durch die Untersuchungen der Engländer Oliver und Scott. Diesen gelang es nämlich, an echt versteinerten Objekten den Zusammenhang der als †Lyginopteris bekannten Stämme mit gewissen Farnspindeln (†Rhachiopteris aspera), einer der †Sphenopteris Hoeninghausi ähnlichen Sphenopteris und einem Samen nachzuweisen oder doch mindestens im höchsten Grade wahrscheinlich zu machen; sie hatten damit den ersten der „samentragenden Farne" gefunden, dem bald andere nachfolgten, namentlich von †Neuropteris-Arten (Kidston). Bei den Neuropterissamen handelt es sich um kohlig erhaltene Reste, bei denen immerhin Vorsicht vonnöten ist. In einem Falle hat Nathorst auch nachweisen können, daß in einem solchen „Samen" ein Sporangium vorlag. Den Autoren, die aus dem bloßen Zusammenvorkommen von Samen mit „Farnen" auf die Zusammengehörigkeit schließen, ist am wenigsten Glauben beizumessen. Immerhin ist für eine Anzahl von farnlaubigen Carbonpflanzen die Zugehörigkeit zu den Gymnospermen wohl als erwiesen zu betrachten, und dies erscheint weniger absurd, wenn man bedenkt, daß unter den heutigen Cykadeen sich ebenfalls Typen befinden, die anfangs für Farne galten, nämlich die fiederadrige Stangeria und die doppeltgefiederte Bowenia spectabilis. Einige Autoren haben nun auch nach den männlichen Organen dieser †Pteridospermen, wie man diese Mittelgruppe zwischen Farnen und Gymnospermen nannte, gesucht und glauben sie z. T. in dem als †Crossotheca bezeichneten Sorus-Typus gefunden zu haben. Kidston behauptet dies für †Sphenopteris Hoeninghausi. Verfasser muß gestehen, daß nach seiner Ansicht in der von Kidston publizierten †Crossotheca „Hoeninghausi" eine andere Art vorliegt und zwar eine echte †Crossotheca, d. h. ein Farnrest. Hinzugefügt sei noch, daß der auf †Sphenopteris Hoeninghausi bezogene Same, †Lagenostoma Lomaxi, durch den Besitz einer Pollenkammer ausgezeichnet ist, wie heutige Cykadeen, und bisher ohne Embryo gefunden ist. —

Die Wachstumsformen der fossilen Farne stimmten zum großen Teil mit den heutigen überein. Schon in der Steinkohlenperiode treffen wir Farnbäume mit rings spiralig um den Stamm verteilten Blattnarben (Caulopteris), die also eine schirmförmige Krone wie unsere heutigen Farnbäume besessen haben. Neben diesen und Büschelfarnen kommen aber auch recht abweichende Formen vor. Hier sind zunächst die †Megaphyton-Farnstämme des Karbons mit zweizeiliger Beblätterung zu nennen, wie sie heute z. B. beim „Baum des Reisenden" (Ravenala madagascariensis) vorkommt. Ferner sind die vielen gabeligen Wedelformen (S. 417) geradezu frappant; man kann die zuweilen heute sich zeigenden Gabelungen am Gipfel von Farnwedeln vielleicht als Rückschlag auf diese alte, einst so häufige Eigenschaft deuten. Im Mesozoikum findet man fußförmig verzweigte Wedel, die zu der noch in einigen Residuen vorhandenen Matoniaceenfamilie (Fig. 16) gerechnet werden (†Dictyophyllum, †Clathropteris, †Matonidium u. a.). Unter den fiederig struierten Wedeln des Paläozoikums fallen die zahlreichen mit Zwischenfiedern versehenen auf (S. 417); die dahingehörigen †Callipteris, †Neuropteris- und andere Arten zeigen am Gipfel meist Neigung zur Gabelung. Im Mesozoikum sind Zwischenfiedern selten, heute sind sie fast ganz verschwunden.

Zahlreiche Farnstämme sind auch echt versteinert bekannt: ein Teil von ihnen ist aus den Coal-balls (Torfdolomiten) der Steinkohlenflöze gewonnen worden, die überhaupt jetzt wohl die meisten anatomischen Ergebnisse über die Steinkohlenpflanzen liefern. Bekannter und seit alter Zeit bekannt sind aber die verkieselten Rotliegendpflanzen von Chemnitz (Dendrolithen Cottas), von Autun in Frankreich, Paka in Böhmen und einigen anderen Fundorten. Hier findet man sowohl die Caulopteris-Stämme wie die †Megaphytonstämme echt versteinert, sowie auch andere Rotliegendpflanzen (Araucaritenstämme, sporangientragende Farnblätter: †Scolecopteris, Calamiten u. a. m.). Die Farnstämme sind seit langem unter dem Namen „Starsteine" oder †Psaronius bekannt und waren früher wegen ihres schönen Aeußeren und der bunten Farben als Schmucksteine geschätzt. Die Psaronien zeigen um den zentralen Stamm herum einen Wurzelmantel, der durch ein lockeres Bindegewebe verknüpft ist, ein den heutigen Farnstämmen mit Luftwurzeln ganz fremdes Verhältnis. Die Wurzeln zeigen im Zentrum ein Leitbündel von der Form eines fünfstrahligen Sterns. Auch aus späteren Formationen sind Farnstämme bekannt, auch echt versteinte. Für die Kreide sind z. B. die †Protopteris-Stämme charakteristisch, ferner †Rhizodendron u. a. Im Tertiär finden sich bei uns nur sehr

selten Reste von Farnstämmen (rheinische Braunkohle).

β) †Sphenophyllales. Diese Reihe umfaßt nur eine Familie mit nur einer Gattung und stellt eine der geschlossensten Gruppen des natürlichen Systems dar. Die „Keilblättler“ treten zuerst im Kulm (in Spuren schon im Oberdevon) auf, erreichen im mittleren und oberen produktiven Carbon ihre Hauptentwickelung, sind im Rotliegenden noch häufig, im Zechstein aber schon wieder vollkommen verschwunden, wenigstens bei uns. Es sind (Fig. 18) gegliederte, geriefte

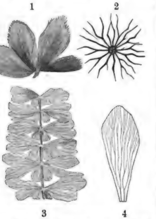


Fig. 18. Sphenophyllum-Typen. 1. Sph. Thoni (Rotliegendes). 2. Sph. tenerrimum (Unt. und mittl. Prod.-Carbon). 3, 4 Sphenophyll. speciosum der Permotrias Ostindiens.

Stengel mit einem dreiteiligen Zentralleitbündel, an dessen Gliederknoten die keilförmigen, ganzen bis zerschlitzten, vorn meist gezähnten Blätter stehen, stets im Vielfachen von 3 (wegen des dreiteiligen Leitbündels), meist 6 bis 12. Die endständigen Blüten bestanden aus zahlreichen, fertilen, sich deckenden Blattquirlen, an deren einzelnen Blättern an besonderen „Sporangienträgern“ (Sporangiophor) die Sporangien zu 1 bis 4 saßen. Die Blätter waren „superponiert“, d. h. sämtliche homologen Blätter waren in einer Vertikalebene angeordnet (siehe auch †Protocalamariaceen). Wie schon bei vielen Stämmen farnartiger Gewächse, ist auch bei dieser Gruppe sekundäres Dickenwachstum vorhanden. Bei den jüngeren Formen bemerkt man oft eine ausgezeichnete Blattmosaik (Fig. 18, 3) durch Verkürzung der den Zwischenräumen angepaßten Basalblättchen. Regelmäßig ist dies bei dem †Sphenophyllum speciosum der Glossopterisflora Indiens der Fall.

Die Verwandtschaftsverhältnisse der Gruppe weisen einmal auf die Calamariales, andererseits auf die kleine Gruppe der Hydropterideen, der heterosporen „Wasserfarne“, von denen speziell Salvinia zum Vergleich herangezogen wird.

Es war bei der angenommenen Verwandtschaft mit den Hydropterides besonders störend, daß im Paläozoikum die Verwandten vieler heute monosporen Gewächse, wie Equiseten, Lycopodien heterospor waren; jetzt ist aber auch ein heterospores Sphenophyllum bekannt.

Die ökologischen Verhältnisse der Gattung sind umstritten. Einige betrachten sie als auf dem Wasser schwimmende, z. T. submerse Pflanzen, andere als Luftgewächse. Für ein reines Luftleben dürften die Stengel der Pflanzen aber kaum die nötige Tragfähigkeit besessen haben, namentlich bei den jüngeren großblätterigen Formen (Fig. 18, 1). Erwähnt sei noch, daß das älteste †Spheno-

Fig. 19. Pseudobornia ursina, Oberdevon der Bäreninsel. Nach Nathorst aus Lotsy.

Digitized by Google

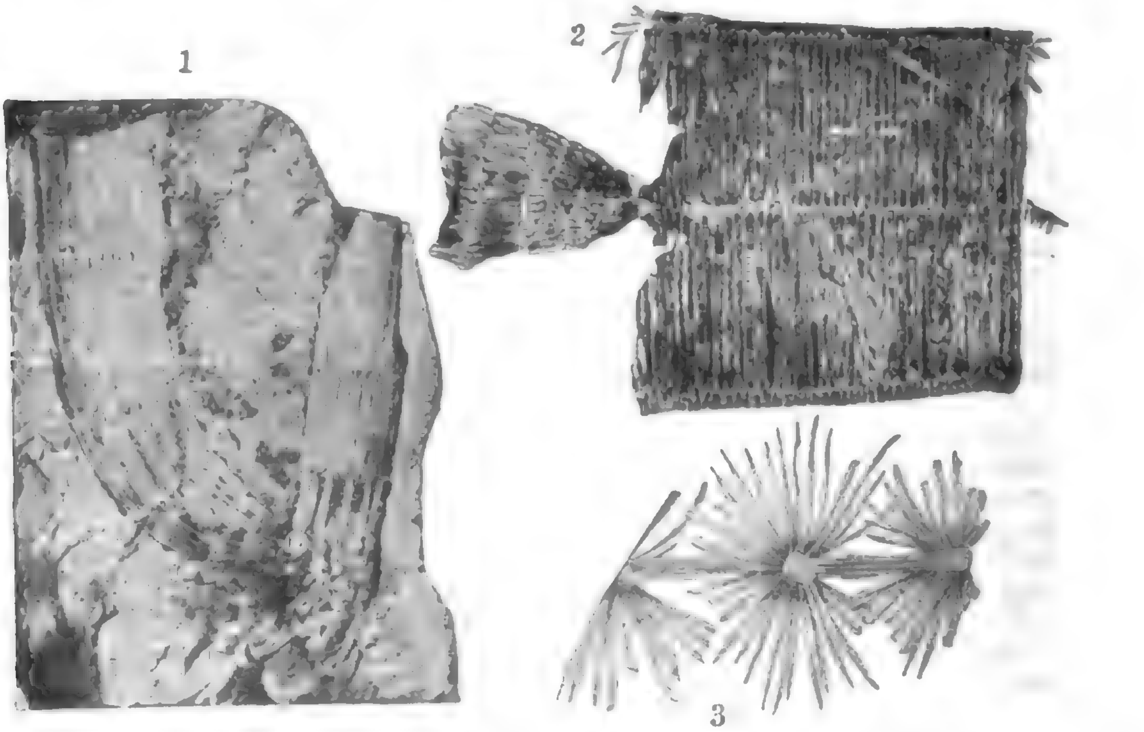
phyllum (Sphenophyllum tenerrimum) sehr zarte, fein zerteilte Blätter hat (Fig. 18, 4), während die vollspreitigsten Blätter sich bei den jüngsten Formen finden. Die Gattung enthält etwas über ein Dutzend Arten, von denen einige als Leitfossilien im Carbon wichtig sind und zu den häufigen Carbonpflanzen gehören.

Anschließend an die Sphenophyllen sei die eigenartige und in eine besondere Reihe gestellte Gattung †Pseudobornia Nath. aus dem Oberdevon der Bäreninsel genannt (Fig. 19). Durch die Gliederung des Stengels, die Art der dickeren Stämme hat sie kalamitoide Charaktere; die Beblätterung ist aber so sonderbar, daß man sie mit Calamariales-Blättern nicht vergleichen kann, eher vielleicht mit Sphenophyllen.

γ) Equisetales und †Calamariales. Unter Equisetales werden die heutigen Schachtelhalme (Equisetum), sowie die diesen sich annähernden mesozoischen Typen verstanden (†Equisetites, †Neocalamites usw.), unter †Calamariales die paläozoischen Vorfahren, die sich durch die abweichende Beblätterung, das sekundäre Dickenwachstum u. a. und durch ihre baumförmigen Dimensionen von den Equisetales unterscheiden. Eigentliche Schachtelhalme scheinen im Palaeozoikum sehr selten aufzutreten; hierher gehören dürfte Equisetum †Hemingwayi Kidst. Trotz ihrer Größe zeigen viele mesozoische, als †Equisetites (auch Equisetum) bezeichnete unverzweigte Arten mit den den heutigen ähnlichen Sporangienträgern, scheidigen Blättern, Wurzelknollen mit den lebenden so viel Verwandtes, daß sie möglicherweise in die lebende Gattung gehören. Man bezeichnet sie aber besser bis auf weiteres als †Equisetites. Eine andere Gruppe hat noch nach †Asterophyllites-Art (worüber gleich Näheres) zerteilte Blätter und dadurch mehr Calamitoides (†Neocalamites). Eine Mittelstellung nehmen die im Buntsandstein und in den tieferen Glossopteris-Schichten charakteristischen †Schizoneura-Arten ein, mit oft nur zweiteilig, oft mehrfach gespaltenen großen Scheiden. (†Schizoneura paradoxa und gondwanensis). Die in jüngeren, besonders tertiären Schichten sich manchmal findenden Reste sind wohl als der Equisetumgattung selbst angehörig zu betrachten.

Die †Calamariales waren große baumförmige Gewächse mit mehr oder weniger starker, bald regelmäßiger, bald regelloser Verzweigung, einem mächtigen, bald zerfallenden Mark und einem nachträglich in die Dicke wachsenden Holzkörper. Die Einzelteile der Pflanzen finden sich fast immer isoliert und werden daher hier auch gesondert besprochen.

Man unterscheidet bei den †Calamariales zwei Familien, die †Protocalamariaceen und die eigentlichen †Calamariaceen. Beide werden am besten im Zusammenhang besprochen; wir werden zunächst einen Ueberblick über die †Calamariaceen geben,



1 2 3

Fig. 20. 1 und 2 Calamites Suckowi (mit der nicht häufigen Verzweigung), aus der Stylocalamites-Gruppe. 3. Annularia stellata. Aus Lotsy.

Digitized by Google

und dann auf die Abweichungen der wenigen †Protocalamariaceenreste aufmerksam machen.

Die Stammreste sind leider weitaus in der Mehrzahl in Form von Marksteinkernen vorhanden, die als †Calamites in den Lehrbüchern der Geologie gewöhnlich abgebildet werden. Die Calamiten bestehen aus einzelnen Stengelgliedern (Internodien) mit schmäleren oder breiteren, dichtstehenden Längsriefen, deren Verlauf ein ganz ähnlicher wie bei den Leitbündeln der lebenden Schachtelhalme ist. Sie gehen nämlich über die Knotenlinien (Nodiallinien), die die einzelnen Glieder trennen, nicht gerade durch, sondern wechseln ab (Fig. 20). Manche Calamiten zeigen auf den Knotenlinien dann noch in regelmäßiger oder unregelmäßiger Verteilung „Astnarben", nach deren Verteilung Weiß seine bisher benutzte Calamitengruppierung durchgeführt hat. Um die Marksteinkerne sitzt noch oft in Form eines Kohlebelags der Holzkörper an. Das nachträgliche Dickenwachstum dieses Holzkörpers hatten wir schon erwähnt; charakteristisch und stark an die Verhältnisse von Equisetum erinnernd sind die im Primärholz verlaufenden Kanäle. Die Oberfläche des Stammes ist bei manchen Calamiten häufig, bei manchen sehr selten erhalten; sie ist ziemlich glatt, zeigt an den Knotenlinien oft noch getrennte dem Stamme anliegende schmale Blätter oder deren Abfallstellen sowie die oft sehr regelmäßigen Astabfallnarben, seltener die Aeste noch ansitzend; bei einem Calamiten hat man eine haarig-schuppige Oberfläche gefunden (†Calamites paleaceus Stur).

Die unterschiedenen Gruppen der †Calamiten sind die folgenden (nach Weiß):

I. †Stylocalamites. Astnarben nicht sichtbar, Verzweigung (sehr) spärlich. †Calamites Suckowi, der gemeinste Calamit des Carbons; †Calamites gigas des Rotliegenden.

II. Astnarben regelmäßig verteilt. Hierhin gehören die Gruppe des †Calamites cruciatus mit rings um den Stamm in spiraliger Stellung verteilten Astnarben (Quincunx-Stellung); ferner die †Calamophyllites- (†Calamitina-)gruppe, bei der die Internodien oft periodisch sukzessive kleiner werden und an den kleinsten die dicht nebeneinanderstehenden Astnarben sitzen. Ferner †Calamites ramosus und paleaceus mit kreuzweise gegenständigen Aesten u. a. m. Die Gruppen sind im mittleren produktiven Carbon häufig,, die Cruciatus-Gruppe mehr im oberen Prod.-Karbon (und Rotliegenden). Die Calamitenstämme sind auch echt versteinert und daher anatomisch gut bekannt; man bezeichnet solche Stämme gewöhnlich als †Arthropitys und †Calamodendron.

Die Beblätterung ist von der scheidigen der heutigen Equisetaceen ganz abweichend, indem die Einzelblätter stets vollständig getrennt auftreten und entweder ein aufwärts

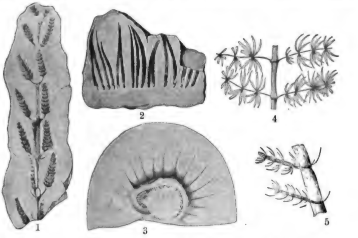


Fig. 21. 1. Palaeostochya pedunculata, häufige Calamitenblüte. 2 und 3 Scheidenartige Blätter von Calamites. 4, 5 Asterophyllites-Beblätterung. Aus Lotsy. Nach verschiedenen Autoren.

Digitized by Google

gerichtetes Büschel (†Asterophyllites) oder einen ausgebreiteten Stern (†Annularia) bilden (Fig. 20, 21). Der Zusammenhang zwischen bestimmten Stämmen und Beblätterungstypen ist erst in einigen Fällen bekannt, möglicherweise stellen unsere Calamiten-„Spezies" Sammelgruppen dar, die in Wirklichkeit Verschiedenes umgreifen und also auch mehrere Blatttypen gehabt haben können. Die verschiedenen Asterophylliten und Annularien bieten z. T. eine Anzahl von Leitfossilien für verschiedene Schichten des Carbons, wie †Annularia radiata, stellata, sphenophylloides, † Asterophyllites equisetiformis u. a. m.

Die Blüten der Calamiten (Fig. 21, 1) sind ebenfalls von denen der Equiseten sehr abweichend und hatten ebenfalls gegliederte Stengel, an denen ein steriler Blattquirl mit einem fertilen abwechselte; letzterer wurde von den sterilen Blättern meist schützend umgeben, und das Ganze hatte die Form eines Zapfens. Diese Blüten sind unter dem Namen †Calamostachys, (†Stachannularia), †Palaeostachya, † Macrostachya bekannt, auf deren Eigenheiten wir hier nicht eingehen können.

Die Lebensdauer der ganzen Gruppe beschränkt sich auf das Carbon und Rotliegende; im Kulm sind ihre Vertreter wenig zahlreich, und werden dort durch die bereits vorn erwähnten †Protocalamariaceen in den Hintergrund gedrängt. Von Bedeutung ist bei diesen nur der häufige und überaus verbreitete, vielleicht monotypische †Asterocalamites (†Archäocalamites) scrobiculatus (†Calamites transitionis), dessen Marksteinkerne unter den Kulmpflanzen ein beträchtliches Kontingent stellen; er unterscheidet sich sehr leicht von den Calamiten durch die gerade durchgehenden Riefen (Fig. 22, 3), was einer primitiveren Blattstellung (Superposition, wie bei †Sphenophyllum) entspricht. An dickeren Stämmen bemerkt man Anzeichen von Verzweigung. Die hierzugehörige Beblätterung weicht von der der Calamiten durch die mehrmals gabelige Zerteilung (Fig. 22) ab, ähnelte im übrigen einem langblätterigen Asterophylliten; wegen der Gabelung wurden diese Blätter anfangs für Sphenophyllen angesehen. Nach Kidston bilden die Blüten dieser Gewächse die als †Pothocites beschriebenen Reste; in Deutschland sind trotz der vielen Asterocalamitenreste solche Blüten nicht bekannt geworden.

Eine Sonderstellung nehmen noch die †Phyllotheca-Arten ein, deren Blätter unterwärts scheidig verwachsen, oberwärts frei sind; sie gehören zu den Charakterpflanzen der Glossopteris-Flora (s. Abschn. 5e).

δ) †Lepidophyten (und Lycopodineen, Selaginellaceen). Aehnlich wie bei der Schachtelhalmgruppe die paläozoischen Vorfahren oder Verwandten große Bäume waren, so ist es auch bei den Bärlappgewächsen (Lycopodineen). Zwar treten auch hier schon im Carbon krautige Vertreter auf, die z. T. mit großer Wahrscheinlichkeit zu den Selaginellen gerechnet werden können (†Selaginellites), jedoch sind diese nur eine seltene und gänzlich untergeordnete Erscheinung neben jenen in zahlloser Menge auftretenden baumförmigen Lepidophyten.

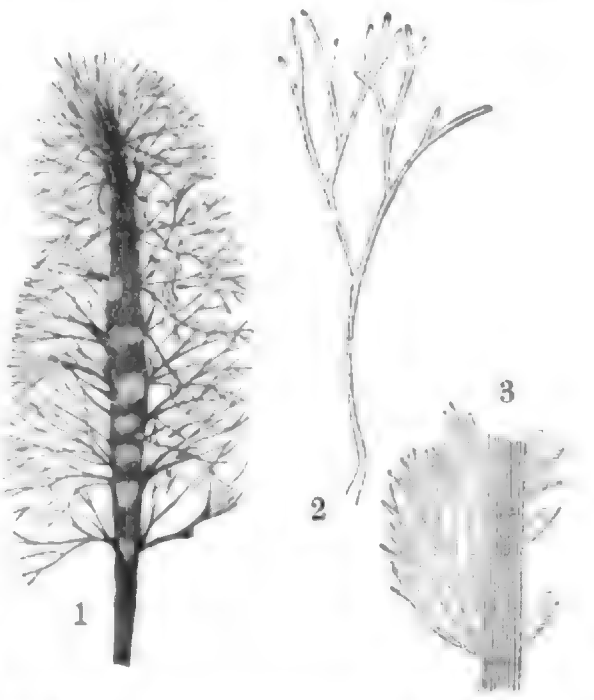


Fig. 22. Asterocalamites scrobiculatus aus dem Culm, mit Beblätterung. 2 Einzelblatt ca. $^1/_1$. Aus Lotsy.

Alle diese Gewächse zeichnen sich durch eine eigentümliche Rindenskulptur aus, die für die einzelnen Gruppen charakteristisch ist. Die Rindenskulptur besteht besonders in dem Vorhandensein größerer oder kleinerer Blattnarben, die manchmal noch auf besonderen Polstern stehen; auf diesen Blattnarben bemerkt man meist 3 Pünktchen, von denen das mittlere dem in das Blatt ausgehenden Blattleitbündel, die anderen beiden dem sogenannten Leitgewebe (Parichnos) entsprechen, das als lockeres (?Atmungs-?) Gewebe das Leitbündel in Stamm und Blatt hinein „begleitet". Ueber den Blattnarben befindet sich noch ein Grübchen, die sogenannte Ligulargrube. Ob daran eine „Ligula", ein Häutchen, gesessen hat, weiß man zwar nicht; es tritt aber ein Leitbündel in die Grube ein, so daß dies sehr wohl möglich ist. Jedenfalls aber ist diese Ligulargrube zu vergleichen mit den entsprechenden Gebilden der danach benannten „ligulaten" Pteridophyten, der Selaginellaceen und Isoetaceen. Gleich

Digitized by Google

diesen haben auch die fossilen Lepidophyten vielfach Heterosporie besessen, und man schließt daher die Verwandtschaftsbeziehungen oft mehr an diese Gruppen an als an die eigentlichen Lycopodineen. Die Daseinsdauer der Lepidophyten ist verhältnismäßig kurz und bei den einzelnen Gruppen verschieden; das Rotliegende hat keine überdauert, und ob ältere als oberdevonische vorhanden gewesen sind, ist zweifelhaft. Näheres bei den Einzelgruppen, zu denen wir jetzt übergehen.

1. †Lepidodendraceae (Fig. 23). Große Bäume mit meist ausgesprochen gabeliger und reichlicher Verzweigung. Im Zentrum des Stammes meist kein Mark, sondern ein zentrales Leitbündel, an das sich das nicht unbedeutende Sekundärholz anschließt (mit ring- oder spiralverdickten Zellen); dieses wird von der sehr mächtigen Rinde umgeben (meist schlecht erhalten). Unterhalb des Hautgewebes befand sich vielfach eine eigentümliche (auch bei Farnstämmen, †Lyginopteris z. B.) bekannte Sklerenchymzone, bestehend aus vertikal verlaufenden, anastomosierenden Bastplatten, deren netzförmiges Aussehen in der Aufsicht dieser Struktur den Namen Dictyoxylon-Struktur gegeben hat. Mit der Identifizierung zwischen echt versteinerten und als Abdruck erhaltenen Stämmen ist es leider nicht gut bestellt; man beschreibt daher beide Erhaltungsformen für sich. Die Abdrücke — auch bei den Sigillarien — zeigen keineswegs immer die charakteristische Rindenskulptur (Fig. 23; 24), sondern oft sind die Stämme der äußeren Rindenpartien oder der Haut- und Polstergewebe beraubt, so daß bei der Fossilisation abweichend aussehende Erhaltungszustände resultieren (†Bergeria, †Aspidiaria, †Lyginodendron[1]) Gourlie und † Knorria). Besonders der letztere Erhaltungszustand taucht an manchen Punkten in stereotyper Häufigkeit auf, nämlich wo eine stärkere Verschwemmung solcher Reste, wie in den groben Culmgrauwacken usw. stattgefunden hat.

An dem Lepidodendron-Blattpolster bemerkt man oberhalb der Mitte (selten tiefer) die eigentliche Blattnarbe mit den erwähnten 3 Punkten (Fig. 23), darüber die Ligulargrube, und unter der Blattnarbe auf den beiden durch eine Mitteltrace getrennten Wangen noch zwei größere Punkte (nur selten fehlend), die sich bei guter Erhaltung charakteristisch punktiert zeigen und ein lockeres, als Atmungsgewebe gedeutetes Parenchym enthielten, das mit dem der beiden Parichnospunkte auf der Blattnarbe in Verbindung stand. Im Culm sind häufig †Lepidodendron Veltheimi und Volkmanni, im Prod.-Carbon †Lepidodendron obovatum, aculeatum, seltener rimosum u. a. m. Schon

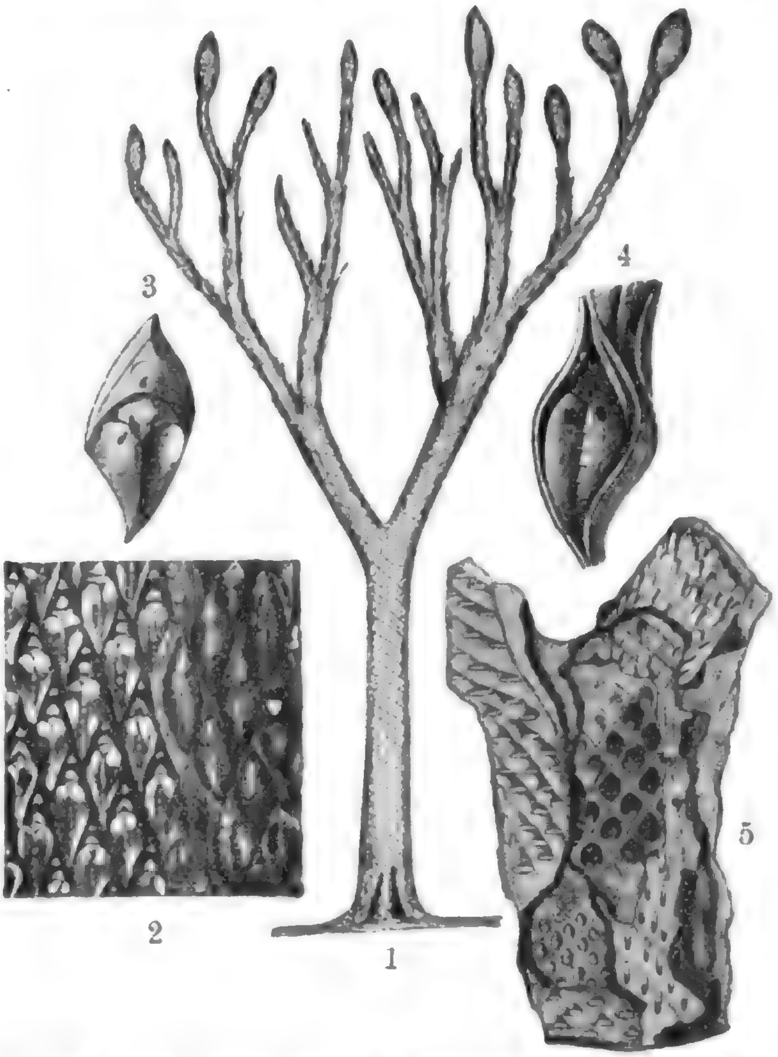


Fig. 23. Lepidodendron. 1. Rekonstruktion (veraltet; die Krone ist z. B. dichter zu denken). 3 4 Einzelne Blattpolster; 3 Positiv. 4 Negativ. 5 Schema verschiedener Erhaltungsweisen (Knorria, Bergeria usw). 2. Lepidodendron aculeatum; links: Rindennegativ; rechts Aspidiaria. Aus Lotsy.

im oberen produktiven Carbon gehören die Lepidodendren zu den größten Ausnahmeerscheinungen und im Rotliegenden findet sich kaum noch ein Rest davon.

Sehr eigenartig und für die gesamten Lepidophyten charakteristisch ist, daß das

[1]) Die Engländer brauchen †Lyginodendron meist im Sinne von †Lyginopteris.

Digitized by Google

gesamte Hautgewebe mitsamt den Blattpolstern und -narben auch nach dem Blattabfall mit in die Dicke wuchs, eine Borkenbildung also nicht stattfand. Man findet daher die Blattpolster in allen möglichen Größenstadien. Die Blätter waren langlineal, mit einer Mittelader versehen und finden sich oft isoliert, an jüngeren Zweigen aber stets noch ansitzend. Im Querschnitt waren sie ungefähr flach rhombisch. Die oft

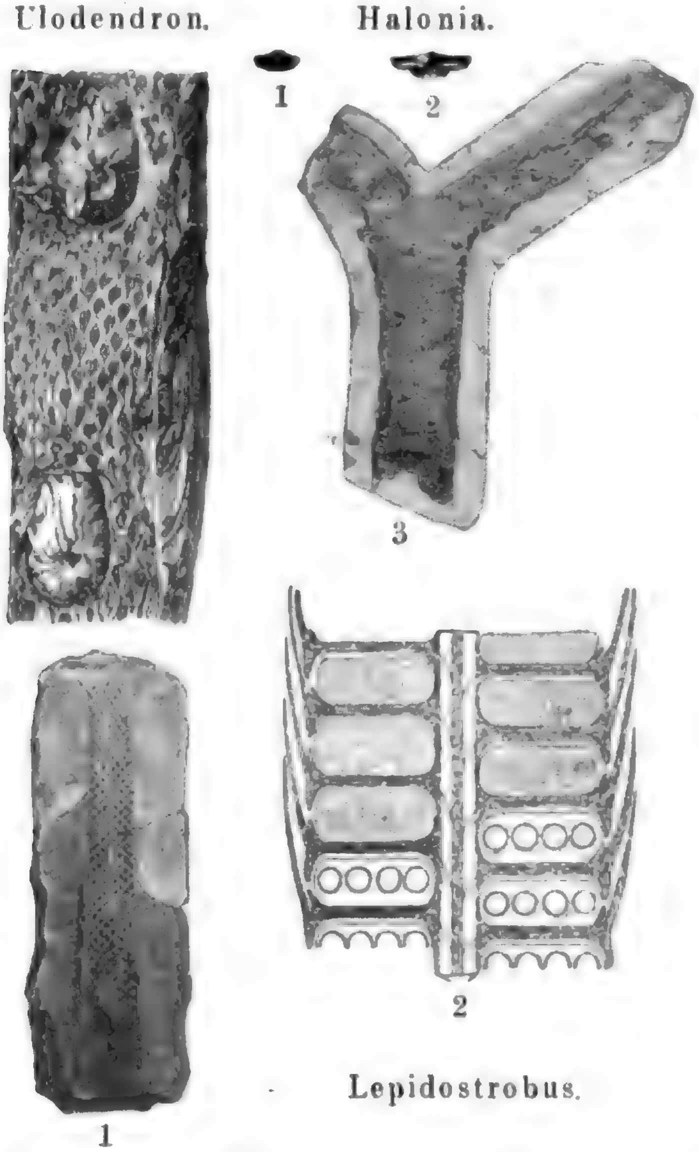


Fig. 24. Links oben: Ulodendron-Zweig, wohl von L. Veltheimi mit 2 Narben. 1. Lepidostrobus (Zapfen), Abdruck, unten Sporangien sichtbar. 2. Schematischer Längsschnitt durch einen Lepidostrobus mit Makro- und Mikrosporangien. 3. Halonia (zu †Lepidoployos scoticus, verwandt mit Lepidodendron) mit zahlreichen Zapfennarben. 1, 2 Blattpolster. Aus Lotsy nach Scott u. a.

fußlangen sporentragenden Zapfen der Lepidodendren waren, zum Teil wenigstens heterospor und bestanden aus einer lepidodendroid skulpturierten Achse, an der die unterwärts mit je 2 Sporangien versehenen Sporophylle saßen, deren lanzettliche Spreitenteile sich außen am Zapfen dicht dachziegelig deckten. Diese Blätter findet man oft einzeln (Lepidophyllum) in Menge das Gestein bedeckend. Die Zapfen waren zum Teil endständig, zum Teil stammbürtig und die Aeste, an denen solche Zapfen saßen, sind zum Teil sehr charakteristische Gebilde, deren Typus auch bei verwandten Gattungen und anderen Lepidophyten auftritt. Es sind die als †Halonia und †Ulodendron (? eigene Gattung) bezeichneten Objekte, von denen †Ulodendron allerdings, wie Renier neuerdings nachgewiesen hat, auch Zweige trug. Bei †Halonia sowohl wie bei †Ulodendron (Fig. 24) ist die Erhaltung der Blattpolster meist über die Maßen schlecht, so daß es meist schwer ist, sich über die Zugehörigkeit klar zu werden; die kleinen querrhombischen Polster mancher Ulodendren machen sogar einen sigillarienhaften Eindruck (†„Sigillaria" discophora).

Anhangsweise sei hier noch kurz die Familie †Protolepidodendraceen aus dem Mitteldevon erwähnt. Es sind kleine, wohl halb krautige, lepidodendronartig skulpturierte Zweige mit kleinen, an der Spitze gegabelten Blättern.

2. †Sigillariaceen. Diese Gruppe hat ihren Namen von den sehr charakteristischen Blattnarben, die wie der Stammoberfläche aufgesetzte Siegelmarken aussehen, die mehr oder weniger 6-seitig sind mit Uebergangsformen zu rhombischen und längsgedehnten birn- bis eiförmigen Blattnarben. Blattpolster wie bei der vorigen Familie fehlen; die Narben stehen entweder dicht gedrängt und bieten bei ihrer 6-Seitigkeit das Bild etwa einer Bienenwabe, oder sie stehen entfernter auf Längsrippen, die dem Stamm das Aussehen einer kannelierten Säule verleihen, oder sie sind — immer in typischer Spiralstellung — der Rinde ohne weiteres aufgesetzt. Hiernach unterscheidet man 3 Gruppen, 1. favularische (Fig. 25, 1), 2. rhytidolepe (Fig. 25, 2), 3. leioderme oder Subsigillarien (Fig. 25, 3, 4), von denen die ersten beiden als Eusigillarien vereinigt werden. Das geologische Auftreten der Gruppen erfolgte in der angeführten Reihenfolge. Im Culm fehlen Sigillarien noch vollständig; in den unteren Teilen des unteren Prod.-Carbons treten nur †Favularien und auch

Digitized by Google

die nur selten auf. Die eigentliche Sigillarienära beginnt erst mit dem oberen Teil des unteren Prod.-Carbons, wo die favularische Gruppe vorherrscht, die dann bald erlischt. In der Hauptfavularienzone beginnen dann die Rhytidolepen aufzutreten, die dann im mittleren Prod.-Carbon in ungeheurer Massenhaftigkeit erscheinen, bis sie im oberen Prod.-Carbon fast schon wieder verschwunden sind, von wo an dann die Subsigillarien bis ins Rotliegende in ihre Rechte treten. Die Familie tritt also später auf als die vorige, erlischt aber auch später.

Wie schon bei den Lepidodendren erwähnt, wuchsen die Blattnarben mit dem ganzen Hautgewebe in die Dicke; jedoch scheint an der Stammbasis im hohen Alter eine Auslöschung der Narben stattgefunden zu haben und an deren Stelle die durch die zwei Parichnos-Narben gekennzeichnete Syringodendron-Skulptur mit sehr großen und oft auseinandergezerrten Malen in die

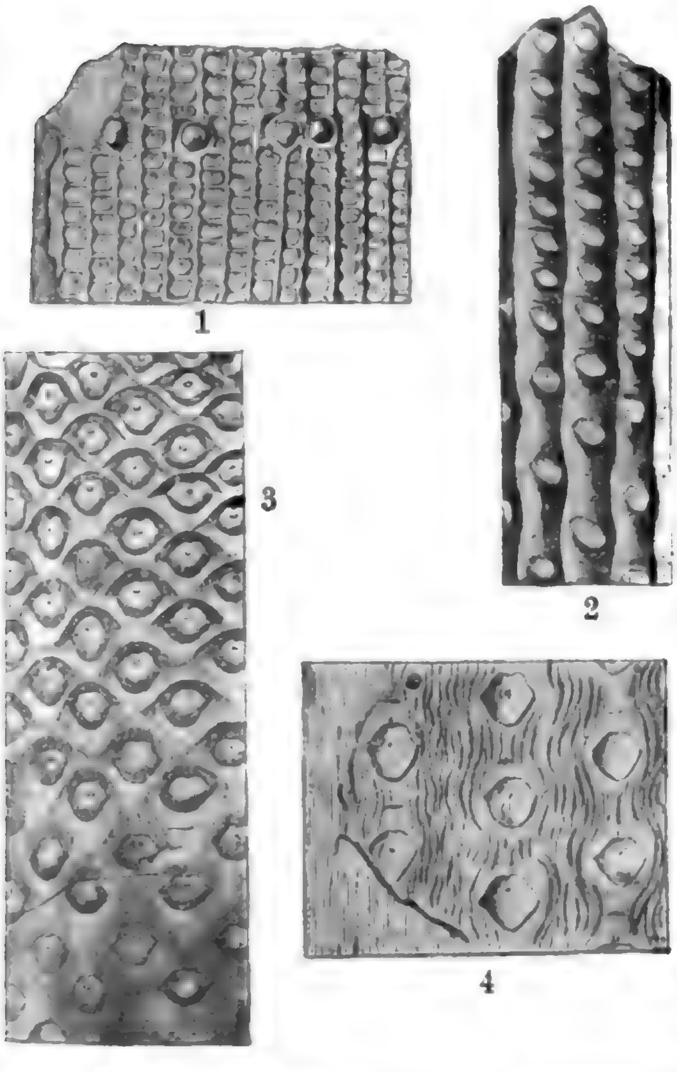


Fig. 25. Typen von Sigillarien. 1. Favularische Sig. (†S. elegans), oben mit den Abfallstellen der Zapfen. 2. Rhytidolepe Sigillarie. 3 und 4 Subsigillarie (†Sig. Brardi) des oberen Prod. Carb. 3 zeigt oben die sogenannte Canzellata-Skulptur. Aus Lotsy. Nach Potonié u. a.

Erscheinung getreten zu sein. Der Syringodendronzustand findet sich sonst überaus häufig; öfter findet man einen Markausguß in Form eines calamitoiden, aber der Gliederung entbehrenden schmalen Steinkerns. Demgemäß hatte der Stamm im Zentrum ein Mark, das von dem Sekundärholz — hier oft mächtiger als bei †Lepidodendron — umgeben wurde, das dann die mächtige, auch hier aus weniger widerstandsfähigen Elementen bestehende Rinde umhüllte. In der Außenrinde findet man die schon oben erwähnte Dictyoxylonstruktur.

Die sehr schwierige Unterscheidung der zahlreichen Arten beruht im wesentlichen auf der Rindenskulptur. Eine Verzweigung ist bei Sigillaria in Form von Gabelung dickerer Stämme oder Aeste beobachtet, aber in bedeutend untergeordneterem Maße als bei Lepidodendron; ein ganzer Baum ist vielleicht nur durch 2- bis 3malige Gabelung verzweigt zu denken. Diese Gabelung tritt bei Favularien häufiger hervor, überaus selten dagegen bei †Rhytidolepen und †Subsigillarien. Blätter findet man fast nur isoliert; sie sehen aus wie die langen Lepidodendronblätter höheren Alters. Nur in den größten Ausnahmefällen findet man sie noch an Stämmen ansitzend. Die Blüten — heterospor und mit verkehrt spießförmigen Sporophyllen — waren ausschließlich stammbürtig (Fig. 25, 1; 26) und standen in 1—2 ungefähr quirlständigen Zeilen rings um die Aeste oder Stämme herum. Sporen (Makrosporen) findet man häufig isoliert (Sporites), da sie sehr widerstandsfähig sind. Die Anwesenheit der Blüten verrät sich leicht durch die zwischen den gewöhnlichen Blattnarben stehenden Abfallstellen, die der ganzen Sachlage nach von nichts weiter herrühren können als von abgefallenen Zapfen (Fig. 25, 1; 26, 1).

Andere jetzt wohl meist als eigene Gattung †Asolanus aufgefaßte Reste nähern sich durch gelegentliche Ausbildung von Knorriawülsten mehr der folgenden, kleinsten, aber um so interessanteren Gruppe, den Bothrodendraceen.

3. †Bothrodendraceen. Sie repräsentieren die geologisch älteste Gruppe der Lepidophyten. Die Blattnarben dieser Bäume sind überaus klein, kaum über 1 mm groß, daher leicht zu übersehen, besonders bei der gewöhnlichen Erhaltung der Bothrodendronreste. Von den Stämmen erhält sich mit Vorliebe nur das Hautgewebe, das als schwarze unscheinbare Kohlenhaut die Blattnärbchen nur mit Mühe und meist nicht ohne Lupe sehen läßt. Knorria-Zustand ist nicht selten (Fig. 27). Die Blattnärbchen zeigen im übrigen 3 Punkte und über ihnen die Ligulargrube wie Sigillaria; sie schließen sich wie †Asolanus an die Subsigillarien an. Die Konservierung des Hautgewebes

Digitized by Google

geht so weit, daß in Rußland sich eine Kohle findet, die aus lauter zusammengehäuften Bothrodendronhäuten besteht (Hautkohle), die ziemlich leicht isoliert werden können.

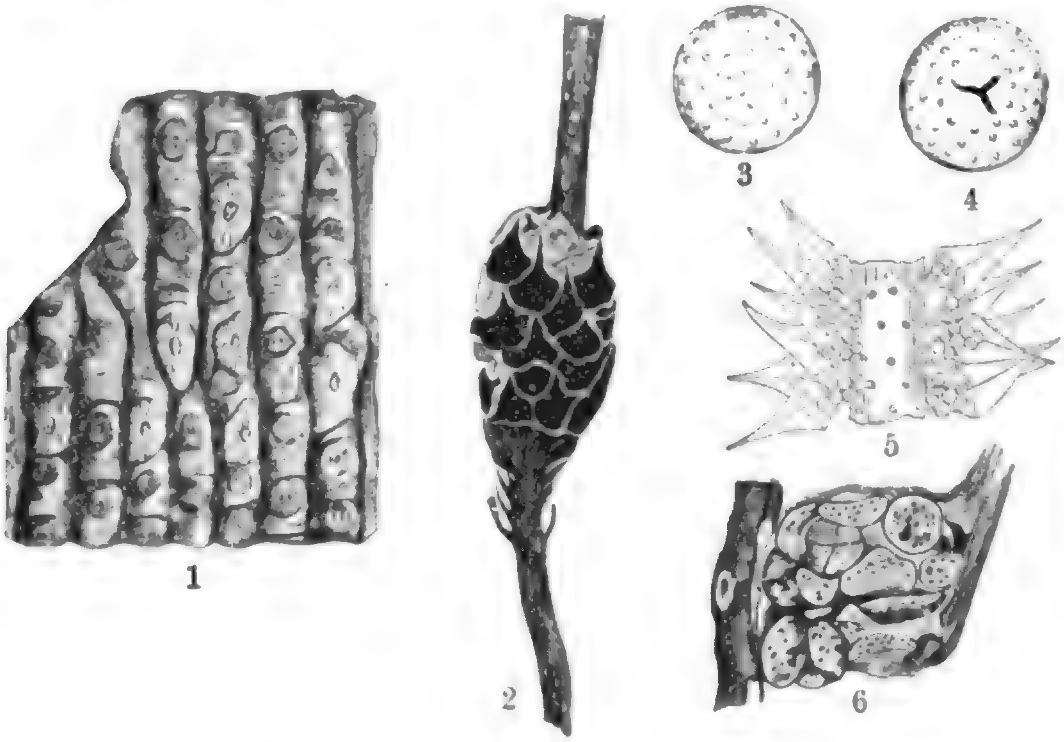


Fig. 26. 1 †Sigillaria mammilaris mit Zapfennarben. 2 Sigillariostrobus; oben von den Sporophyllen entblößt. 3, 4 Makrosporen. 6 Sigillariostrobus zu 3, 4. 5 Sigillariostrobus Tieghemi, schematisch. Aus Lotsy nach Zeiller und Kidston.

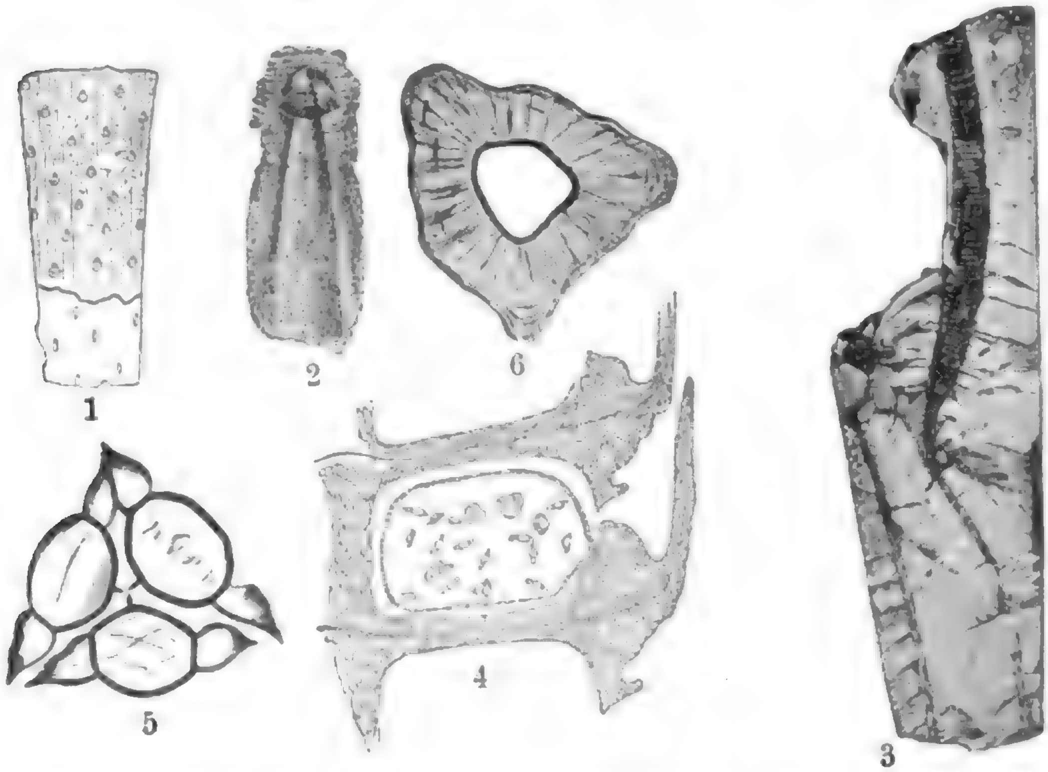


Fig. 27. 1 Bothrodendron punctatum L. et H. Stammfragment, oben die Rinde mit den Blattnarben zeigend. 2 B. minutifolium, die noch zum Teil kohlig erhaltene Außenrinde mit Zapfenblattnarbe zeigend. Nach Potonié. 3 Bothrodendron-Zapfen. Nach Kidston. 4 bis 6 Spencerites insignis. 4 Längsschnitt des Strobilus. Nach Berridge. 5 Spencerites insignis, Sporentetraden. 6 Spore, den Flügel in Oberansicht zeigend. Nach Kidston und Binney.

Digitized by Google

Die Blätter dieser Bäume gleichen am ehesten kurzen Lepidodendronblättern. Auch die Zapfen glaubt man zu kennen („†Lepidostrobus" (†Bothrostrobus) Olryi Zeill.); neuerdings glaubt man, daß die als †Spencerites (Fig. 27) bekannten, mit Flügeln versehenen Sporen zu Bothrodendron gehören. Manche Aeste zeigen Ulodendronnarben.

In diese sehr artenarme Familie rechnet man auch die erst neuerdings in mehr Exemplaren bekannt gewordenen †Pinakodendronstämme, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Die ältesten Vertreter der Gruppe finden sich schon im Oberdevon (†Cyclostigma). Ihre Bedeutung nimmt dann rasch ab; sie finden sich wenig häufig das produktive Carbon hindurch (†Bothrodendron minutifolium und punctatum); im Rotliegenden scheint aber schon keins mehr vorzukommen.

Eine etwas problematische Gattung von unsicherer Stellung, die man aber vielleicht hier anschließen kann, stellen die 2 †Omphalophloiosarten dar, von denen die der nordamerikanischen Flora am besten bekannt ist.

4. †Stigmaria. Einer besonderen Besprechung bedürfen die als †Stigmaria („Narbengewächs") bezeichneten Wurzelstöcke, die sich mit ihren Anhängern („Wurzeln", Appendices) in unendlicher Fülle oft konsequent im Liegenden autochthoner Steinkohlenflöze finden (Fig. 28, 4) und Wurzelorgane von Lepidophyten darstellen, von Sigillarien und von Lepidodendraceen, bei beiden in meist gleicher Form (Fig. 28). Das Rhizom zeigt innen ein Mark (für ein Wurzelorgan recht auffallend, die „Wurzel" erscheint hier gewissermaßen als ein subterrestrischer Stamm), dann Sekundärholz und Rinde. Die Anhängsel (Wurzeln) durchziehen nach Art der Wurzeln lebender Gewächse kreuz und quer das Gestein und befinden sich offenbar noch in autochthoner Lage; sie bestehen aus zartem Gewebe mit einem Zentralleitbündel und das Gewebe war anscheinend sehr lakunös, wie bei Sumpfgewächsen. Eine Abart der Stigmarien bilden die bei einigen Sigillarien beobachteten †Stigmariopsis-Rhizome, deren „Aeste" nicht horizontal ausgebreitet, sondern kurz kegelförmig waren mit weit weniger deutlichen Narben.

Im Buntsandstein findet sich nun noch ein interessanter Nachläufer der Gruppe, der bei seiner ca. 1 m erreichenden Höhe wenigstens die heutigen krautigen Vertreter der Lycopodiales immerhin um Bedeutendes übertrifft, wenn er auch nicht als „baumförmig" angesprochen werden kann. Es ist die eine besondere Familie bildende

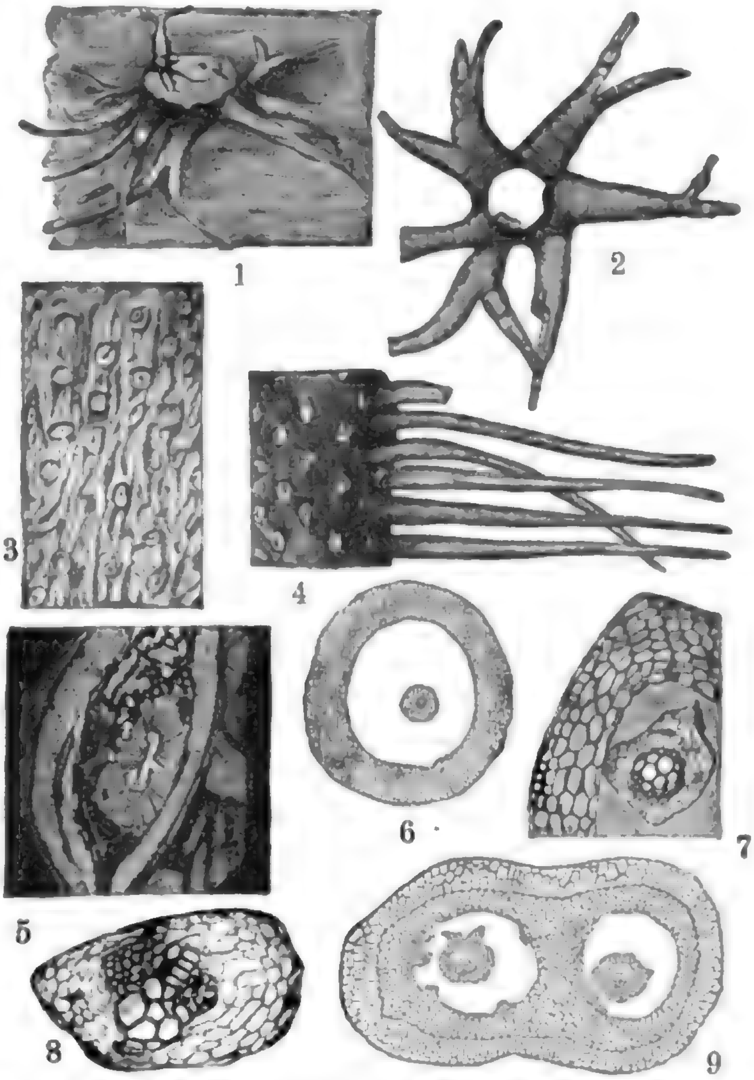


Fig. 28. Stigmaria ficoides. 1, 2 Habitus (sehr verkleinert). 3 Oberfläche. 4 mit anhaftenden Appendices. 5 Querschnitt. 6 bis 8 Querschnitte von Appendices (8 Zentralteil). 9 Querschnitt durch ein gegabeltes Appendix. Aus Lotsy. (Nach Potonié, Scott u. a.

†Pleuromeia (vgl. Fig. 29) mit schnurgeraden, dicken (?beblätterten?) Stämmen mit subsigillarienähnlichen Blattnarben und einer terminalen Blüte; als Wurzelorgan hatte sie einen vierlappigen, stigmarioiden, ebenfalls mit „Appendices" versehenen Wurzelkörper. Die Sporophylle waren rundlich mit je einem Sporangium. Die Beziehungen zu Sigillarien sind bei

Digitized by Google

dem sonderbaren Gewächs kaum zu verkennen; wegen der Vierlappigkeit des Rhizoms hat man an eine Verwandtschaft mit Isoetes (mit eben solchem „Stamm", der dann als stark gestaucht anzusehen ist) gedacht. Die Verwandtschaftsverhältnisse dieses auf jeden Fall sehr isolierten Gewächses sind aber in Wahrheit recht dunkel.

5c) Fossile Gymnospermen. α) Coniferen. Die Coniferen (Nadelbäume,

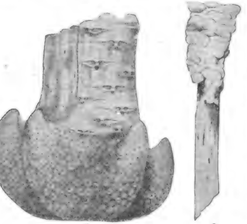


Fig. 29. Pleuromeia Sternbergi. Buntsandstein. 1 Stammbasis mit Rhizom und Blattnarben. 2 Stamm mit terminaler Blüte. Nach Bischoff und Solms-Laubach.

Zapfenträger) sind heute noch in einer Anzahl von Arten (ca. 250 Stück) auf der Erde verbreitet, spielen aber trotz ihrer geringen Artenzahl noch eine große Rolle, da sie in zahlreicher Fülle beieinander wachsen, und sind durch ihre gegenüber den Angiospermen und überhaupt den anderen Gewächsen sehr eigentümliche Wachstumsform sehr in die Augen fallende Erscheinungen. Die wenigen bei uns heimischen Arten und manche fremde sind uns daher geläufige Pflanzen. Ihre Glanzepoche aber war das Mesozoikum, die Periode vom Zechstein bis zum Wealden (i. e. das pflanzliche Mesozoikum, Mesophyticum), wo sie zusammen mit anderen Gymnospermengruppen, den Cycadophyten und Ginkgophyten, die tonangebenden Gewächse bildeten. Die ersten Spuren der Coniferen reichen aber noch um eine Stufe tiefer hinunter, indem die zweifellos zu den Coniferen zu rechnende Gattung Walchia schon im Rotliegenden, stellenweise sogar in den höchsten Schichten des oberen produktiven Carbons sich zeigt. Aeltere Coniferenreste sind mit Sicherheit nicht bekannt. Wir geben nachfolgend eine gedrängte Uebersicht über die fossilen Reste zunächst der uns bekannten, noch lebenden Familien.

Die älteste Gruppe bilden trotz gegenteiliger Meinung amerikanischer Forscher ohne Zweifel die Araucarieen, jene heute in mehreren Arten auf der Südhemisphäre verbreiteten, bei uns als Ziergewächse nicht selten anzutreffenden eigenartigen Coniferen. Die älteste Gattung der Familie, die mindestens dieser sehr nahe steht, ist die bereits erwähnte †Walchia des Rotliegenden, deren Laubzweige etwa der als „Zimmertanne" bekannten Araucaria excelsa der Norfolk-Inseln ähneln. Die Zapfenschuppen waren einsamig (Zeiller), ein weiteres wichtiges Argument für die Zugehörigkeit zu der Familie. Der anatomische Bau des Holzes ist ebenfalls bekannt; es dürfte ein Teil der zahllosen verkieselten Stämme des Rotliegenden zweifellos zu Walchia gehören. Der Holzbau dieser Stämme ist nun ebenfalls durchaus araucarioid, und die als †Tylodendron (†Schizodendron) bekannten Marksteinkerne dieser Stämme ähneln ebenfalls denen von Araucaria (Potonié).

Wir müssen hier kurz erläutern, was unter araucarioidem Holzbau verstanden ist, weil wir hiervon noch öfter sprechen werden. Die Hoftüpfel auf den Holzzellen (siehe unter Pflanzenanatomie) sämtlicher heute lebenden Coniferen zeigen den Typus der Figur 30, 1: rund, bei Mehrreihigkeit ungefähr gleich hochstehend, nur die Araucarieen haben die alternierende Verteilung und Zusammendrängung der Hoftüpfel wie Figur 30, 2.

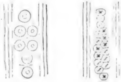


Fig. 30. Coniferenhoftüpfel. 1 moderner Typ. 2 araucarioider Typ.

Digitized by Google

Daher nennen wir die letztere Verteilung „araucarioide Hoftüpfelung oder Holzbau“, die andere „moderne Holztüpfelung“. Der Typus der araucarioiden Hoftüpfelung findet sich bei sämtlichen Coniferen des Paläozoikums und noch bis zum Keuper durchaus vorherrschend, ohne daß — wie heute — diese Tüpfelung auf die Araucarieen beschränkt gewesen wäre. Erst um den Lias herum zeigen sich zuerst Typen mit moderner Hoftüpfelung. Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Holzreste aus der untersten Kreide des hohen Nordens, die am selben Stück beide Typen mit Uebergängen zeigen (Fig. 31). Weiter ist zu erwähnen, daß im Paläozoikum nicht nur die Coniferen, sondern auch sämtliche anderen Gymnospermen (Cordaiten z. B.) und noch andere Gewächse wie zum Teil †Cycadofilices diese Art der Hoftüpfelung in etwas modifizierter. die Verwandtschaft mit der netzigen Zellverdickung noch mehr verratender Weise zeigen. Wenn manche amerikanischen Forscher dies Verhältnis der früher allgemein verbreiteten araucarioiden Hoftüpfelung verkennen und aus dieser ohne weiteres für viele Gewächse Araucarieenverwandtschaft ableiten wollen, so ist das ein bedauerlicher Fehlgriff (†„Araucariopityoideae“ Jeffrey).

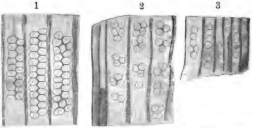


Fig. 31. 1 bis 3 Cedroxylon transiens mit allen Uebergängen von der araucarioiden zur modernen Hoftüpfelung. Unterste Kreide von König-Karls-Land.

Kehren wir zu den Araucarieen zurück. Spätere Angehörige dieser Gruppe sind fossil ebenfalls bekannt. Sichere Araucariareste treten erst im mittleren Jura auf. Mit mehr oder minder großer Unsicherheit werden zu der Familie gerechnet die †Albertien des Buntsandsteins, deren breite flächige Blätter an die von Dammara erinnern. Ferner rechnet Nathorst die †Elatidesreste hierher, allerdings mit Reserve, und neuerdings ist dies besonders fraglich geworden. Im Tertiär finden sich Araucariareste wie heute nur auf der Südhemisphäre und zwar als Laub-, Zapfen- und Holzreste bis 64° s. Br. hinunter (Seymour-Insel, auch Kerguelen).

Zu den ältesten Coniferenfamilien gehören auch ohne Zweifel die Angehörigen der Sumpfzypressenfamilie, der Taxodieen. Die gespaltenen Zapfenschuppen mit mehreren Samenanlagen machen die ihr Angehörenden leicht kenntlich. Ohne großen Zweifel gehören dahin schon die †Voltzia-Arten, eine Gattung, deren Umgrenzung noch zu wünschen übrig läßt. Schon im Zechstein finden sich ihre Anfänge (†Voltzia Liebeana; Fig. 32, 1—n); ihr Blütezeit fällt in den bunten Sandstein, wo †Voltzia heterophylla die Charakterconifere bildete. Die späteren Voltzien sind weniger gut bekannt und in ihrer Zugehörigkeit zweifelhafter. †Voltzia heterophylla hatte zweierlei Beblätterung, kürzere und längere, und ziemlich locker gebaute endständige Zapfen. Das Holz dieser Arten hatte araucarioiden Bau (†Dadoxylon keuperianum). Auch in späteren Perioden ist an Taxodieen-Resten kein Mangel; ihre größte Wichtigkeit erreichten sie anscheinend im Tertiär. Im Rhät finden wir verschiedentlich Taxodieen, wenn auch fremdartige Typen. In der untersten Kreide (Wealden) zeigen sich die ersten Spuren noch lebender Gattungen, und zwar von Sequoia, von der auch in der oberen Kreide Reste angegeben werden. In Menge treten Taxodieen von der unteren bis zur oberen Braunkohlenformation auf, den Gattungen Sequoia, Taxodium (und Glyptostrobus) angehörig; einige Arten dieser stimmen mit den heute noch lebenden nach Zapfen, Laub und Holz so weitgehend überein, daß eine Unterscheidung kaum möglich ist. Es sind dies die tertiäre Sequoia Langsdorffi (= Sequoia sempervirens lebend), Sequoia Couttsiae (Sequoia gigantea, der bekannte Mammutbaum), Taxodium distichum und Glyptostrobus heterophyllus (fossil: Glyptostrobus europaeus. In weitester Verbreitung auf der gesamten Nordhemisphäre bis in den hohen Norden (Spitzbergen, Grönland) waren im Tertiär diese Gewächse zu finden, und sie gaben mit vielen anderen zusammen unserer Tertiärflora jenen nordamerikanisch-ostasiatischen Anstrich, der einen ihrer hervorstechendsten Charaktere bildet. Ihre heutigen Residua lassen sie zum großen Teil als „lebende Fossilien“ erkennen, wie die Sequoien und Glyptostrobus. Die

Digitized by Google

tertiären Arten waren auch bei uns in weitgehendem Maße an der Aufhäufung der Braunkohlenlager beteiligt, in denen sich ihre Stämme, oft noch in situ, in Menge finden.

Dürftiger als über die Vorfahren der Taxodieen sind wir über diejenigen der Cupressineen unterrichtet. Ihre Blütezeit fällt in das Tertiär, wo auch bei uns Thuja- und Chamaecyparis-ähnliche Typen existierten. Ihre Anfänge gehen in die Jurazeit zurück (†Palaeocyparis), bieten aber wenig Interessantes. Bemerkenswert sind unter ihnen z. B. die †Frenelopsis-Reste der untersten Kreide (sehr Frenela-ähnlich); ferner die Libocedrus-Arten des Tertiärs und die seit der Kreide bekannte Callitris (Callitris †Reichii aus der oberen Kreide von Mähren); unsere tertiären Callitris ähneln fast vollständig der heute im Atlasgebirge vorkommenden Callitris quadrivalvis. Auch Juniperus wird fossil angegeben.

Weit wichtiger und interessanter ist die Vorgeschichte der heute auf der Nordhemisphäre verbreiteten und artenreichsten Familie der Tannengewächse (Abietineen), zu der unsere Kiefern, Fichten, Tannen usw. gehören. In ihr haben wir vielleicht die jüngste und höchstentwickelte Coniferenfamilie vor uns. Die ältesten Reste, die dahingestellt werden, finden sich im Rhät von Schonen, von wo Nathorst Pinusähnliche Nadeln, Pollenkörner mit Pollensäcken und geflügelte Samen beschrieben hat. Aber noch im Jura sind die Spuren dieser Familie überaus zerstreut und zum Teil unsicher. Erst in den tiefsten Kreideschichten treten sie mehr hervor, weniger bei uns (†Abietites Linki des Wealden, überaus Cedrus- ähnliche Zapfen im englischen Weald), als im hohen Norden. Auf Spitzbergen, König-Karls-Land, Franz-Josefs-Land und den Neu-Sibirischen Inseln zeigen sich in diesen Schichten ungewohnt viele Reste davon, Blätter sowohl wie Samen und viele Holzreste, von denen einige eigentümliche Uebergangshoftüpfel zeigen, die wir schon oben erwähnt haben (Fig. 31). Immerhin sind es noch in ihrer Verwandtschaft mit bestimmten lebenden Gattungen wenig sichere Typen. Auch aus Nordamerika (Staten Island) sind abietoide Stämme ähn-

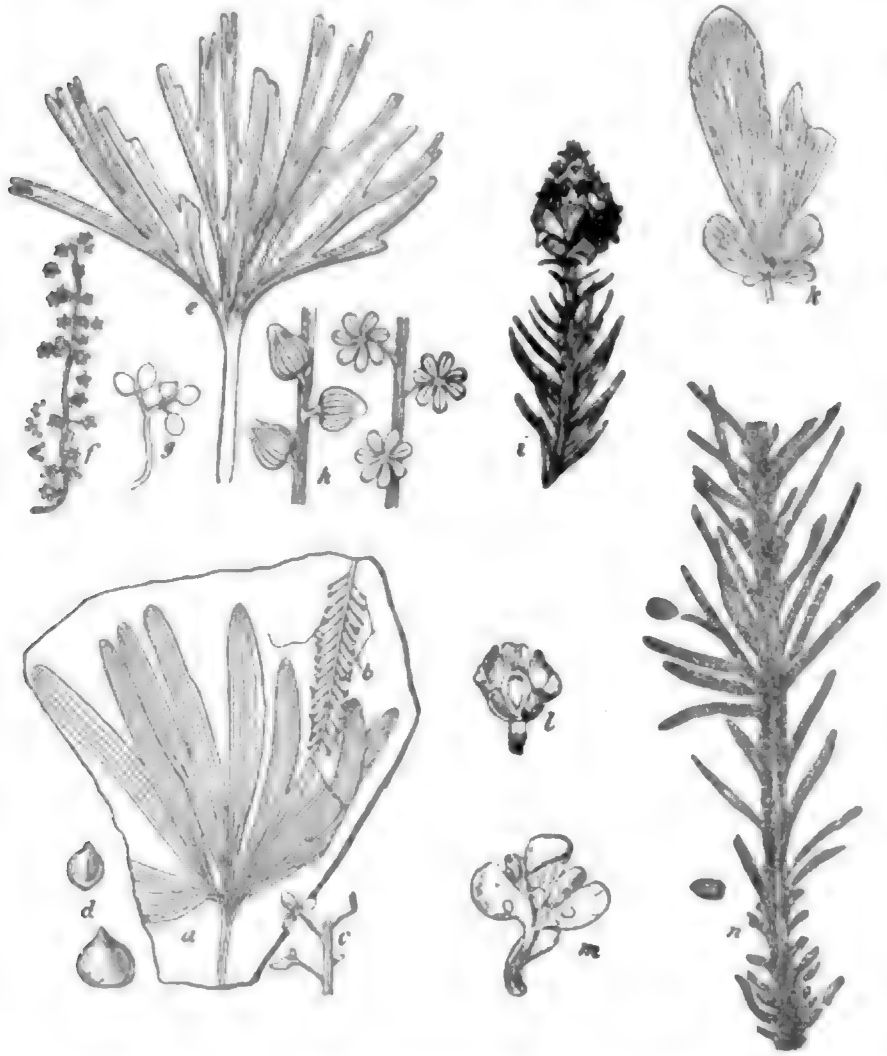


Fig. 32. a bis d Ginkgo sibirica Heer: Braunjura (Ost-Sibirien). a Blatt; b, c männl. Blüte; d Samen. e bis h Baiera Münsteriana Presl sp.: Rhät. g Fruchtstand; e Blatt; f, h männl. Blüte. i Cryptomeria japonica, lebende Taxodiee. k Rhipidopsis gingkoides Schmalh. Perm Rußlands. l bis n Voltzia Liebeana Gein., Zechstein. (l und m einzelne Zapfenschuppen). Die Hauptfiguren etwas verkleinert, k stärker verkleinert a bis d nach O. Heer, e bis h nach Schenk, i nach Potonié, k nach Schmalhausen, l bis n nach Geinitz.

Digitized by Google

lichen Charakters bekannt, deren Verwandtschaftsverhältnisse von Jeffrey aber anders und unrichtig gedeutet werden (†Araucariopityoideae, S. 435).

Die ältesten Reste der lebenden Abietineen-Gattungen finden sich anscheinend in der unteren Kreide (?Cedrus). Im Wealden findet sich auch der erste Pinus-Zapfen (Pinus †Sauvagei Zeill. u. Fliche). In †Pinites Solmsi des Weald ist ebenfalls ein sehr Pinus-ähnlicher Rest zu erblicken. In der mittleren oder oberen Kreide sind aber schon verschiedene Sektionen unserer Gattung Pinus fertig ausgebildet (Sectio Taeda); daneben finden sich Reste, die Uebergänge zwischen heute isolierter stehenden Gruppen bilden, wie die fossilen zu den Sectionen †Strobo-Cembra und †Cedro-Cembra gerechneten Zapfen. Die Pinus-Reste der Braunkohlenperioden sind wohl ausnahmslos den heutigen Sectionen der Gattung bequem einzureihen, sowohl die Zapfen wie die Holzreste. Selbst lebende Pinus-Arten, wie Pinus montana sollen schon im Miozän vorgekommen sein. Unsere heutigen Kiefern tauchen sonst untergeordnet im Pliozän, häufig dagegen in diluvialen Ablagerungen auf.

Auch von den anderen Abietineen-Gattungen hat man mehr oder minder sichere Nachrichten. Im Miozän finden sich schon Zapfen, die der Picea excelsa nahestehen, ferner im Bernstein in Picea †Engleri der Bernsteinbäume eine Fichte ostasiatischer Verwandtschaft; daneben kamen Pinus-Arten der Sectio Taeda, vielleicht auch Parrya vor, alles unserer Flora jetzt fremde, amerikanisch-ostasiatische Typen. Eine besondere Erwähnung verdient entschieden schon als Hauptlieferant des Bernsteins Pinus †succinifera, die sich nach neuerer Ansicht wohl mehr mit der Kiefer (Pinus s. str.) als mit der Fichte (Picea) verwandt zeigt; sie gründet sich auf die mit dem Bernstein vorkommenden Holzstämme. Daneben kommen als Bernsteineinschlüsse männliche Blüten, Nadeln, Schuppen vor, die zum Teil wohl zu den Stämmen gehören werden. Conwentz hat durch seine Untersuchungen an dem Material selbst wie an lebenden Coniferen-Urwäldern die hochgradig pathologischen Verhältnisse des Bernsteinwaldes erläutert, der ein Mischwald mit vorherrschenden Coniferen war. Die durch keinen forstlichen Schutz gehinderten Baumfeinde befielen die Bäume in hohem Grade, und aus vielen Wunden floß das Harz hervor, zu mannigfachen Formen erstarrend, oft von der Sonne rein geschmolzen, uns schließlich als Bernstein erhalten.

Auch von einigen der übrigen Abietineen-Gattungen sind fossile Reste bekannt, so von Abies (wenig, schon wegen des zerfallenden Zapfens), von Picea im Tertiär, von Larix ebenfalls schon im Tertiär.

Weit geringer sind die Spuren der heute in Europa nur durch eine Art (Eibe, Taxus baccata) vertretenen Taxaceen. In neuerer Zeit verdanken wir Nathorsts Untersuchungen die Erkenntnis, daß mit Wahrscheinlichkeit die Gattung †Palissya des Rhät mit der Podocarpen-Gruppe der Taxaceen zu vergleichen ist. Von dieser Familie werden auch im Tertiär Reste angegeben (Pod. †eocenica). Zu erwähnen sind noch die aus dem Rhät-Jura stammenden Reste von †Palaeotaxus und †Stachyotaxus, die eher mit der eigentlichen Taxusgruppe verwandt sind; von dieser werden auch aus dem Tertiär weitere Reste (von Torreya und Cephalotaxus) angegeben. Ob die aus der unteren Kreide Nordamerikas stammenden †Nageiopsis-Arten mit Podocarpen verwandt sind (Sectio Nageia von Podocarpus), ist sehr ungewiß (? Cycadophyten).

Coniferen zweifelhafter Verwandtschaft. Die Zweifelhaftigkeit der Verwandtschaft gründet sich meist auf die ungenügend bekannten Zapfenverhältnisse. Im Zechstein sind die herrschenden Coniferen die †Ullmannien, nadel- bis schuppenblättrige Coniferenzweige mit wenigen Arten, die in den Kupferschieferschichten gewöhnlich sind (†Ullmannia frumentaria; †Ullmannia Bronni sind die bekannten „Frankenberger Kornähren").

Im Mesozoikum, besonders im Lias und Dogger, finden sich häufig die als †Pagiophyllum zusammengefaßten Coniferenzweige, mit dicken, kürzeren, sichelförmig gekrümmten Blättern (†Pagiophyllum peregrinum), denen als Parallele die meist etwas höhere Schichten bevorzugenden †Brachyphyllum an die Seite zu stellen sind, mit dicken, kurz schuppenförmigen Blättern. Im Wealden findet sich das reizende †Sphenolepidium Kurrianum (Blätter ähnlich Sequoia gigantea, aber viel dichter), vielleicht zu den Taxodieen gehörig. Als wichtig nennen wir noch die †Geinitzien der oberen Kreide, mit langen, holzigen Zapfen, deren Schuppenschild etwas an das von Sequoia erinnert; viele Autoren stellen †Geinitzia auch zu den Taxodieen. Weitere zweifelhafte Gattungen sind †Elatides, ferner †Echinostrobus des weißen Jura (mit Arthotaxis verglichen) usw.

β) Ginkgophyten oder Ginkgogewächse. Von dieser einst reich entwickelten Gruppe existiert nur noch eine einzige selbst als „lebendes Fossil" aufzufassende Art, der Ginkgobaum (Ginkgo biloba), von dem man früher annahm, daß er nur durch Kultivierung vor dem Untergang

Digitized by Google

geschützt worden sei. Die heute lebende Ginkgo-Art scheint schon im Tertiär existiert zu haben, wenigstens ist es nicht möglich, die wenigen Blätter aus dieser Formation spezifisch nennenswert von ihm zu unterscheiden. Zu den zerstreuten Funden im europäischen Tertiär ist erst vor wenigen Jahren der Fund im Pliozän (!) von Frankfurt a. M. gekommen. Auch er ist also bei uns ein Opfer der Eiszeit geworden, im Tertiär schon ein „lebendes Fossil“.

Die Wurzeln der Gruppe reichen weit zurück, bis ins Paläozoikum. Sieht man von zweifelhaften älteren Resten ab, so treten die ersten schwerlich anders unterzubringenden (Blatt-)Reste in den höchsten Schichten des oberen produktiven Carbons und im Rotliegenden auf. Sie sind lange verkannt und für Farn- oder gar Algenreste angesehen worden. Die älteren Typen zeigen (bis zum Rhät) den schmalblätterigen reichlich zerteilten als †Baiera bezeichneten Typus (Fig. 32, e—h). Zu den ältesten Typen gehören z. B. †Baiera Raymondi und †Baiera digitata, letztere charakteristisch für den Kupferschiefer, nur als Blätter bekannt. Dagegen kennt man von jüngeren †Baieras (und Ginkgos) auch männliche Blüten und Früchte, und das Zusammenvorkommen solcher mit den Blättern führte O. Heer auf die richtige Spur; mit dieser Erkenntnis fiel zugleich klares Licht auf die älteren, früher verkannten Blattreste. Die männlichen Blüten der fossilen — wenigstens mesozoischen — Ginkgophyten, besonders Baiera, hatten meist mehr Pollensäcke als die lebende Art und es scheinen bei ihnen auch mehr Samen zur Reife gekommen zu sein als einer. Bekannte Arten sind †Baiera Münsteriana (Fig. 32, e—h) des fränkischen Rhät (mit Blüten und Samen!), Baiera paucipartita des Rhät von Schonen usw. Die unterste Kreide scheint die Gattung nicht überdauert zu haben. Bei gewissen ebenfalls bei den Ginkgophyten[1]) unterzubringenden Resten geht die Zerteilung der Blattspreite bis zur Haarfeinheit; hier sind zu nennen †Czekanowskia des Jura und †Trichopitys im Perm und Jura.

Vom Jura an treten Typen mit weniger stark zerteilter Spreite auf, die man schlechtweg als Gingko bezeichnet und wohl ohne Zweifel mit Recht; bis zum Wealden einschließlich bleiben diese Gewächse häufig und charakteristische Florenbestandteile (Fig. 32, a—d). Häufige Arten sind Ginkgo digitata im Jura und Ginkgo †sibirica (desgl.; an dieser Art erkannte O. Heer die Ginkgo-Natur), ferner Ginkgo†multipartita im Wealden. Von da ab flaut die Häufigkeit rapide ab, und in der oberen Kreide sind sie wie im Tertiär große Seltenheiten; sie paßten in die Angiospermenflora der oberen Kreide und des Tertiärs so wenig hinein wie in die heutige und es ist wohl nur glücklichen Zufällen zu danken, daß diese mesozoische Pflanze nicht das Schicksal der meisten mesozoischen Typen geteilt hat, die mit dem Wealden verschwinden.

Zu den Ginkgophyten zählt man auch eine Anzahl weiterer, mehr oder minder abweichender Typen, von denen wenigstens die wichtigsten hier genannt seien. Im Rotliegenden (und etwas früher) haben wir die eigentümlichen †Dicranophyllen, Sprosse vom Habitus eines Lepidodendron-Zweigs, dessen Blätter aber alle gegabelt waren.

Ferner †Phoenicopsis und †Phyllotenia (Jura) mit längsstreifigen, langen und schmalen Blättern, die zum Teil wie bei Ginkgo in Kurztrieben standen; eigenartig sind die ähnlichen, aber einzeln stehenden Blätter von †Feildenia im Tertiär Grönlands, nur mit großer Reserve hier erwähnt.

In einzelnen Fetzen lassen sich solche langstreifigen Blätter im Mesozoikum oft gar nicht bestimmen, und der Sammelname †Desmiophyllum Solms ist dann sehr angebracht.

Ein eigenartiger Typus sind die als †Psygmophyllum bezeichneten großen bald unzerteilten, bald etwas Baiera-ähnlichen Blätter aus dem Carbon (selten) und Perm (häufig im russischen Perm). Sie zeichnen sich wie die Ginkgoblätter durch typisch gabelige Aderung aus und erinnern im unzerteilten Zustande an Cordaitenblätter. Besonders muß hier aber noch †Rhipidopsis gingkoides erwähnt werden mit großen umgekehrt-eiförmigen Blättern, deren mittelste unverhältnismäßig viel größer als die randlichen sind (Fig. 32, k). Die Form ist für die ältere Glossopteris-Flora charakteristisch, wurde aber zuerst im russischen Perm (Petschora) gefunden, das überhaupt stark von Glossopteris-Elementen durchsetzt ist.

Anhang. γ) †Cordaitenbäume. Obwohl im Carbon auch trotz der Pteridospermen, deren Zahl vielfach stark überschätzt werden dürfte, die Pteridophyten entschieden dominierten, fehlten (außer den Pteridospermen) Gymnospermen keineswegs; diese waren vielmehr durch die sehr eigentümlichen und eine der bestumgrenzten Gruppen des Pflanzenreiches bildende †Cordaites-Gattung reichlich vertreten. Durch die Untersuchungen besonders von Grand'Eury und Renault kennen wir diese

[1]) Dieser Name von Nathorst umfaßt einen bedeutend weiteren Sinn als Ginkgoales oder Ginkgoaceen, und zwar auch die von Ginkgo sehr abweichenden Typen; ähnlich ist es mit Cycadophyten.

Digitized by Google

Bäume bis in viele Einzelheiten hinein. Am häufigsten finden sich von ihnen die Blätter, lange, lanzettliche längsaderige (oft mit noch feineren Zwischen„adern" zwischen den Hauptadern), etwas derbe Blätter, die wegen ihrer Länge (bis 1 m!) meist nur in Bruchstücken zum Vorschein kommen, von bald schmälerer, bald breiterer Form; nach dieser und der Aderung hat man verschiedene Typen unterschieden (†Poacordaites, †Dorycordaites). Zwischen den Blättern saßen die äußerlich ähnlichen männlichen und weiblichen Blüten, die auch anatomisch durch echt versteinte Reste bekannt sind (Fig. 33); die Samen sind unter verschiedenen Namen bekannt (†Trigonocarpus, †Rhabdocarpus, †Cardiocarpus) und hatten z. B. durch den Besitz einer Pollenkammer cycadeoide Charaktere. Die Anatomie der Blätter ist auch bekannt, ebenso wie die der Stämme (Fig. 33). Sie hatten ein unverhältnismäßig großes Mark, das leicht zerfallen zu sein scheint; daher sind fossile Marksteinkerne häufig; die als †Artisia bekannt sind (Fig. 33, 3.6). Das Holz hatte Coniferenholzbau mit araucarioidem Charakter, mit einer unverhältnismäßig mächtigen Primärholzzone (Fig. 33, 5) mit Spiral-Ringverdickung der Holzzellen. Auch die Blüten finden sich oft als Abdrücke isoliert (†Cordaianthus), und an den erwähnten intuskrustierten Resten hat man sogar Pollenkörner in der Pollenkammer der Samenanlagen gefunden.

Die Cordaiten treten zuerst im Kulm auf, erlangen im produktiven Carbon große Häufigkeit, sind auch im Rotliegenden noch zahlreich, im Oberrotliegenden aber anscheinend schon verschwunden. Neuerdings rechnen mehrere Forscher die Cordaiten-ähnlichen als †„Yuccites" beschriebenen Buntsandsteinblätter hierher, besonders auf Grund eines kleinen, damit zusammengefundenen Artisia-ähnlichen Körpers. Ja, Zeiller und Lignier

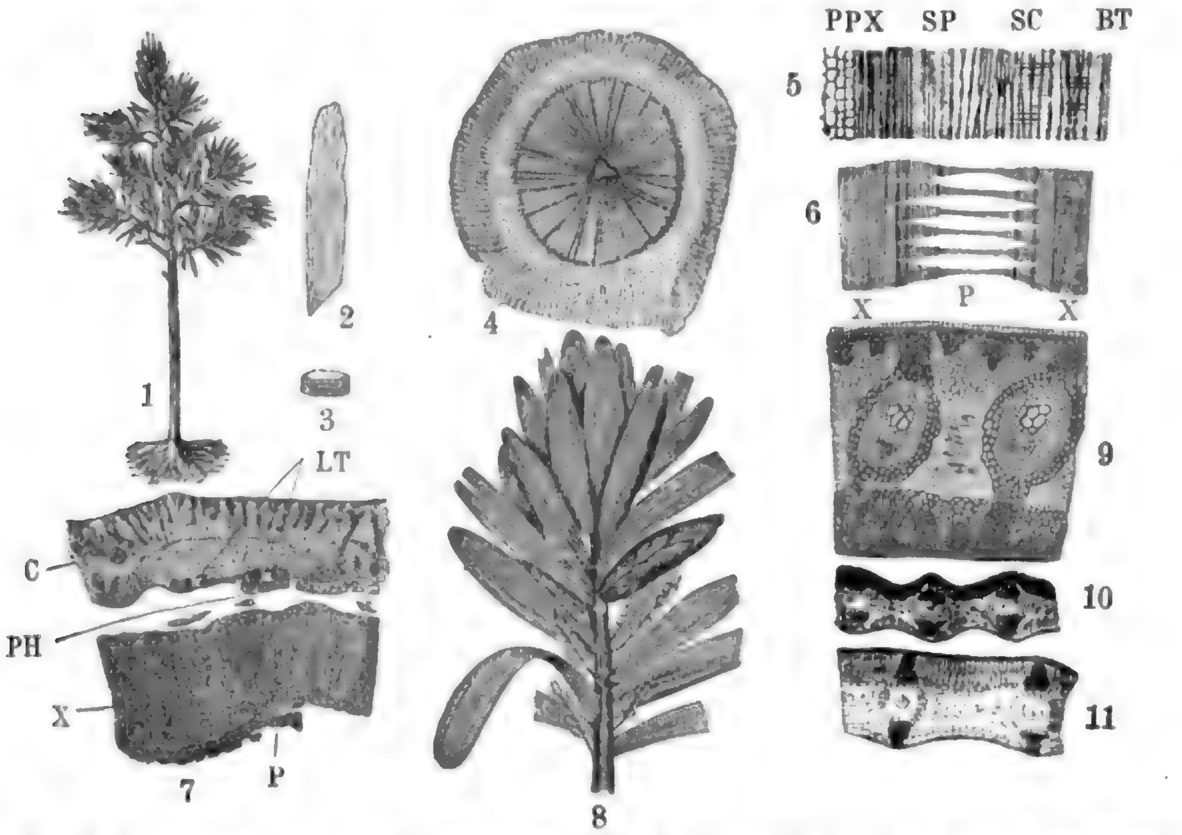


Fig. 33. 1 Dorycordaites spec. Restauration. Nach Grand'Eury, von Scott modifiziert. Der Stamm ist zu kurz. 2 Stück eines Blattabdruckes. 3 Stück eines Abgusses der Markhöhlung, unter dem Namen Artisia (Sternbergia) bekannt. 4 Amyelon radicans, Cordaiten-Wurzel, im Querschnitt. Nach Scott. Im Zentrum das triarche primäre Xylem zeigend, um dasselbe herum das sekundäre Xylem und schließlich Phloem und Periderm. 5, 6 Holz von Cordaites. 5 Radialschnitt. P Mark, PX enge Spiraltracheiden des Protoxylems, SP weitere Spiraltracheiden, SC leiterförmige Tracheiden. BT Tracheiden mit vielreihigen Hoftüpfelchen. 6 Radialschnitt des zentralen Teiles des Stammes, das gefächerte Mark und das Holz zeigend. P Mark, X Holz. 7 Cordaites spec. Teil eines Stammquerschnittes. P Mark, X Holz, PH Phloem LT doppelte Blattbündel, C Rinde. 8 Cordaites laevis. Zweig (restauriert) mit großen parallelnervigen Blättern und Infloreszenzen, eine jede mit vielen Kätzchen, rechts eine große Knospe. Nach Grand'Eury. — 9 Cordaites angulosostriatus. 10 Cordaites rhombinervis. 11 Cordaites lingulatus. 9 bis 10 Querschnitte von Blättern. Aus Lotsy. Nach verschiedenen Autoren.

Digitized by Google

glauben die Existenz der Familie noch im Lias annehmen zu können. Doch wird man diesen Anschauungen gegenüber bis auf weiteres besser Reserve bewahren.

Ebenso ist die Verwandtschaft der †Cordaitaceen mit den als †Noeggerathiopsis bezeichneten Cordaiten-ähnlichen Blättern der älteren Glossopteris-Flora (Indien, Australien, Südamerika, Südafrika; Nordrußland und Nord-Sibirien) wohl noch nicht so sicher. Diese lanzettlichen bis umgekehrt eiförmigen, großen Blätter weichen von den Cordaitenbättern durch häufige und charakteristische Gabelung der Adern durchaus ab, und erst Auffindung von dazugehörigen Stämmen mit Cordaites-Merkmalen könnte hier weitere Klärung bringen; es werden allerdings †Cordaicarpus-ähnliche Samen als damit zusammen vorkommend angegeben. Wenn die neuere Angabe, daß †Noeggerathiopsis an gegliederten Stengeln saß, richtig ist, dürfte die Frage noch so wenig geklärt sein wie jemals.

δ) Cycadophyten. Obwohl auch diese Gruppe ihre Rolle bereits ausgespielt hat, sind doch ihre lebenden Reste, der Cycadeenfamilie angehörig, beträchtlich größer als die der vorigen. Sie kommen in einer Anzahl von Gattungen und Arten in den Tropen und Subtropen vor, die europäische Flora beherbergt keine Art mehr. Gleich den Coniferen und Ginkgophyten fällt ihre Hauptverbreitung in das Mesozoikum mit den ersten Anfängen im Ausgang des Paläozoikums. Die Mannigfaltigkeit der fossilen Formen übertrifft die rezenten bedeutend; wir treffen zwar auch Analoga der lebenden an, was Blatt-, Stamm- und Fruchtbildung anbelangt, aber zudem eine ganze Reihe von Typen, die längst ausgestorben sind und zum Teil eine durch die Art ihrer Blüten und sonst isolierte Stellung einnehmen wie die Bennettiteen.

Die Uebermasse der fossilen Reste bilden Blätter, bei denen man nach ähnlichen Prinzipien wie bei den Farnen gewisse Typen unterschieden hat. Den ältesten Blattyp bilden die †Pterophyllum-Arten, (Fig. 34, 2) in Vorläufern schon im Rotliegenden oder gar schon im höchsten produktiven Carbon auftretend (†Pterophyllum blechnoides im Schwarzwald und andere). Es sind einmal gefiederte Blätter mit pecopteridisch ansitzenden Fiedern mit einfacher Paralleladerung. Erst im Rhät-Lias treten zu diesem Typus eine größere Anzahl neuer[1]) hinzu: am häufigsten sind die †Otozamiten (neuropteridisch, sich deckende Blätter), †Zamiten (neuropteridisch, nicht deckende Blätter), †Anomozamites (kurz und gedrängtblätterige Pterophyllen), †Dictyozamites (wie †Otozamites, aber Maschenaderung, vom Habitus einer †Linopteris) und andere. Sehr wichtig ist noch †Nilssonia (Blätter oberseits der Achse angeheftet, mit Falten zwischen den Adern; äußerlich oft Teniopteris ähnlich), die wie Ginkgo den Wealden weit überdauert hat und nur noch im Miocän mit Ginkgo auf Sachalin vorkam.

Fig. 34. 1 Sphenozamites Rochei: Rotliegend. 2 Pterophyllum Cambrayi, einer der ältesten Typen. 3 „Cycadospadix" Milleryensis, Rotliegendes. Aus Lotsy. Nach Renault.

Meist sind diese Blattypen in ihren Zusammenhängen mit gewissen Stamm- und Blütenresten nicht näher bekannt. Die sämtlichen genannten und noch andere Blattypen sterben mit dem Wealden fast völlig wieder aus. Einen unserer lebenden Cycas sehr ähnlichen Blattyp aus der unteren Kreide Grönlands sah man früher als den ältesten Vertreter der noch lebenden Gattung an, indes hat Nathorst dies neuerdings als Irrtum erwiesen (†Pseudocycas Steenstrupi Heer sp.).

Blütenreste kennt man — bis auf die †Bennettiteen — meist nur weibliche; der primitive Fruchtblattypus unserer Cycas mit den seitenständigen Samen ist fossil schon im Jura bekannt (†Cycadospadix),

[1]) Im Paläozoikum finden sich noch die mehr farnartigen †Plagiozamiten und †Sphenozamiten (Fig. 34).

Digitized by Google

und auch von dem Zapfentypus ist dasselbe zu sagen.

Die Stämme der Cycadeen sind heute zum Teil säulenförmig, zum Teil knollenförmig, und beide Formen sind auch fossil bekannt geworden und unter mannigfachen Namen, wie †Bolbopodium, †Raumeria, †Cylindropodium usw. beschrieben worden; sie zeigen gleich den lebenden dichte Bedeckung mit den Narben der abgefallenen Wedel. Die Cycadeenstämme haben ein eigentümliches unterbrochenes Dickenwachstum, indem innerhalb des Holzkörpers sich neugebildetes Rindengewebe findet, das von Holzringen dann wieder umgeben wird. Eine derartige Ausbildung von konzentrischen Holzringen mit Bastteil dazwischen (nicht zu verwechseln mit Jahresringbildung!) findet sich in vergleichsweise ähnlicher Art schon im Paläozoikum bei †Medullosa, †Cycadoxylon, †Ptychoxylon, jenen zu den †Cycadofilices gestellten halb filicoiden halb gymnospermoiden Typen. Unsere anatomischen Kenntnisse der mesozoischen Stämme stecken dagegen — bis auf die zum Teil gut bekannten †Bennettiteen — sehr im argen.

Fügen wir noch einige Worte über das postmesozoische Schicksal der Cycadeen hinzu. Nach der Wealdenperiode macht sich ein sehr bedenkliches Abflauen der Zahl der Cycadeenreste bemerkbar, die gegen die übermächtig sich vordrängenden Angiospermen gleich den anderen Gymnospermen verschwinden. Immerhin kamen sie noch in der Kreide Mitteleuropas vor; dann aber folgt eine rapide Abnahme; in der Braunkohlenzeit, sowohl der älteren (Eocän-oligocänen) wie der jüngeren (miocänen) ist aus unseren Breiten nichts mehr von ihnen bekannt, trotz der gewaltigen Fülle der aufbewahrten Flora. Im Tertiär von Kumi auf Euboea findet sich der letzte fossile Rest der Gruppe aus Europa, nach Saporta der Gattung Encephalartos angehörig (Encephalartos †Gorceixianus Sap.).

Wir wenden uns nun zur Besprechung der zweiten sehr wichtigen und interessanten Gruppe der Cycadophyten, den †Bennettiteen, die schon mehrfach erwähnt wurden. Die letzten Jahre haben uns Einblicke in diese Gruppe verschafft, die zu höchst interessanten phylogenetischen Ergebnissen geführt haben. Wir lernen diese am besten kennen durch nähere Betrachtung der wichtigsten Typen. Das wohl am längsten bekannte hierhergehörige Fossil, das der Gruppe den Namen gegeben hat, ist †Bennettites selbst, als Intuskrustat (echte Versteinerung) aus der unteren Kreide Frankreichs und

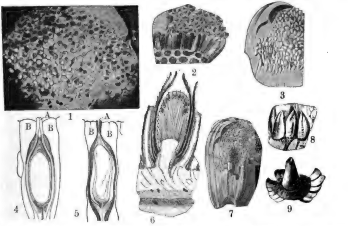


Fig. 35. 1 Cycadeoidea sp. Oberflächenansicht eines jungen weiblichen Blütenteils. Die Enden der mikropylären Röhren sind zwischen den polygonalen Enden der Brakteen deutlich sichtbar. 2 Seitenansicht eines ähnlichen Strobilus von Williamsonia Bucklandi Saporta. 3, 7 Bennettites Morierei, mit Hüllblättern. 4 Längsschnitte der Samen davon (auch 8). 5 Idem von Cycadeoidea Wielandi. A Mikropyläre Röhre, B Brakteen („Paraphysen"). 6 Cycadeoidea, weiblich, von Hüllblättern umgeben. 9 Abguß der Basis des Strobilus von Williamsonia gigas, den Blütenboden, sowie den Discus zeigend. Aus Lotsy. Nach Wieland, Lignier u. a.

Digitized by Google

Englands bekannt. Es ist eine weibliche, kolbenförmige Blüte, die im Prinzip mit den weiblichen der nachher zu erwähnenden †Cycadeoidea übereinstimmt. Auf einem Blütenboden erhoben sich ziemlich lang gestielte Samen mit einem zweilappigen Embryo, zwischen denen etwas längere Hochblätter („Paraphysen") mit kolbenförmigem Gipfel sichtbar sind, deren schildförmige Enden eine eigentümliche Felderung der Oberfläche der Blüten erzeugten mit kleinen Durchtrittsöffnungen zur Mikropyle der Samenanlagen (Fig. 35,7, 8); diese Felderung gestattet die Reste auch in kleinen kohligen Bruchstücken leicht zu erkennen. Die Blüte von Bennettites wird von weiteren Hochblättern fast vollständig eingehüllt.

Bei †Cycadeoidea sind wir über die Einzelteile der Gesamtpflanzen durch das große amerikanische Material in weitgehender Weise unterrichtet. Die Stämme ähneln in ihrem Aeußeren rezenten Cycadeenstämmen mit ihren zahllosen Blattpolstern, waren mehr knollenförmig und überhaupt kleiner als die lebenden Cycas-Stämme — das scheint überhaupt für die Mehrzahl der fossilen Cycadophyten zuzutreffen —, weichen aber durch ihre Blütenverhältnisse wie die Bennettiteen überhaupt durchaus, auch durch deren Lage, von jenen ab. Die Blüten waren ziemlich klein (Fig. 36) und saßen zwischen den Blattnarben eingesenkt in unregelmäßiger Verteilung. Die Blüten waren zum Teil zwitterig; der weibliche Teil war ähnlich †Bennettites gebaut, aber mit meist kegelförmig erhöhtem Blütenboden

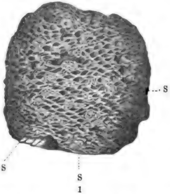


Fig. 36. Cycadeoidea marylandica, Stamm mit Blüten (S). Aus Lotsy nach Wieland.

und daher oft kaum gestielten Samen (Fig. 37) Die bei den zwitterigen Blüten vorhandenen Pollenträger haben nun eine sehr merkwürdige Gestalt. Es waren (Fig. 37) einmal gefiederte farnartige, im Jugendzustand eingerollte (Fig. 38) kleine Wedel, deren Seitenfiedern mit Pollensäcken dicht behangen waren. Diese Pollensäcke zeigen manches

Fig. 37. Cycadoidea ingens. Nach Wieland. Rekonstruktion einer zwitterigen Blüte; im Zentrum der Fruchtteil, herumstehend die gefiederten Pollensackträger. Unten die fransigen Hüllblätter. Aus Lotsy. Nach Wieland.

Digitized by Google

Analoge mit den Synangien der Marattiaceen (die im Paläozoikum so häufig waren). Bei Blüten, deren Samen reif sind, sieht man oft die Pollenträger abgefallen und nur noch deren Ansatzstellen, andererseits zeigen die noch pollentragenden Blüten unausgereifte junge Samenanlagen. Es scheint demnach, als ob hier im Gewächsreich zum erstenmal die Erscheinung der Erstmännlichkeit (Proterandrie) aufträte, die bei den Angiospermen so oft beobachtet wird. Die ganze Blüte wird von einer Hülle umgeben, die oft mit fransenartigen Haaranhängseln versehen ist, und eventuell noch von anderen Hochblättern. Die Blätter dieser hochinteressanten Pflanzen sind nur im Jugendzustande bekannt geworden. Sie ähneln jungen Zamia-Blättern und den fossilen als †Zamites bezeichneten Blättern; sie müssen im erwachsenen Zustand eine beträchtliche Länge erreicht haben. Die Hauptentwickelung dieses Typus fällt in die unterste Kreideperiode. Die Angiospermenperiode scheint keine Art erreicht zu haben.

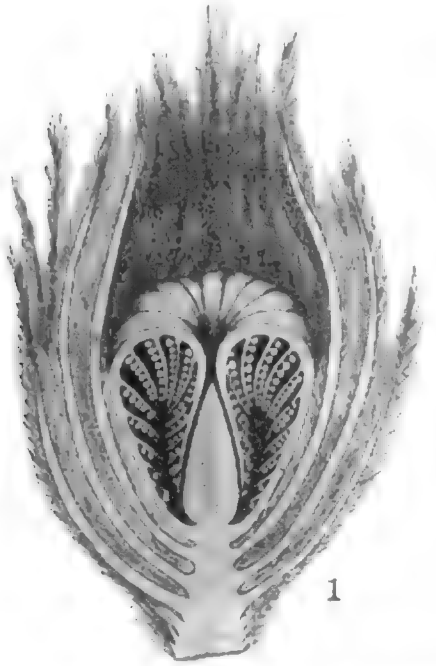


Fig. 38. Cycadeoidea dacotensis. Restauration einer noch ungeöffneten Zwitterblüte. Nach Wieland.

Einen anderen ebenfalls schon längere Zeit bekannten Bennettiteentyp bilden die †Williamsonien. Es waren Blüten mit ganzrandigen Sporophyllen, die am Gipfel Pollensäcke trugen. Im Zentrum der bisher nur getrenntgeschlechtig bekannten Blüte stand ein Bennettites-ähnlicher Fruchtteil (Fig. 35, 2). Die Blätter von Williamsonia-Arten waren Pterophyllum-ähnliche Typen (†Ptilophyllum), und bei †Ptilophyllum pecten ist die Zugehörigkeit zu gewissen Williamsonia-Blüten wohl zweifelsfrei, weniger bei Williamsonia gigas. Die Williamsonien scheinen schon im Rhät-Lias aufzutreten, erreichen aber erst im mittleren Jura ihre Blütezeit. Ihre geographische Verbreitung war weitausgedehnt, da sie sowohl im europäischen wie im Jura der Gondwanagebiete auftraten. Ein anderer, zugleich wohl der älteste Vertreter der Gruppe ist durch die recht abweichende und sonderbare †Wielandiella geboten (Fig. 39). Die Kenntnis dieser Pflanze ist ausschließlich an kohligem Material mit Hilfe von Mazerationsmethoden gewonnen, und Nathorst hat damit einen der bemerkenswertesten Erfolge dieser Untersuchungsmethoden erzielt. Die Pflanze hatte die in der Figur sichtbare eigenartige gabelige Verzweigung; an jeder Gabelstelle stand ein Schopf von Anomozamites-Blättern, in dessen Innern sich je eine, hochblattumgebene Blüte befand (auf dem rechten Teil der Figur sind die Blattschöpfe fortgelassen, damit die Blütenhüllen hervortreten). Die Blüte besteht aus einer birnförmigen Blüten-„achse", der am Gipfel oft unbedeckt ist, oft aber noch das Bennettites-ähnliche Fruchtorgan trägt, das bei der Reife im ganzen abgefallen zu sein scheint, eben jenes birnförmige Receptakulum hinterlassend. Die männlichen Organe, die anscheinend erst nach dem Abfallen der weiblichen zur Reife kamen, befanden sich etwas weiter unterhalb an dem Kolben in Gestalt von kleinen kurzen verwachsenen Pollenkammern, die in Form eines Kragens rings oberhalb die Kolbenbasis umstanden; Pollenkörner konnten in ihnen noch nachgewiesen werden. Dieser Pollenkammerkragen findet sich angewachsen nur an den Exemplaren, die den weiblichen

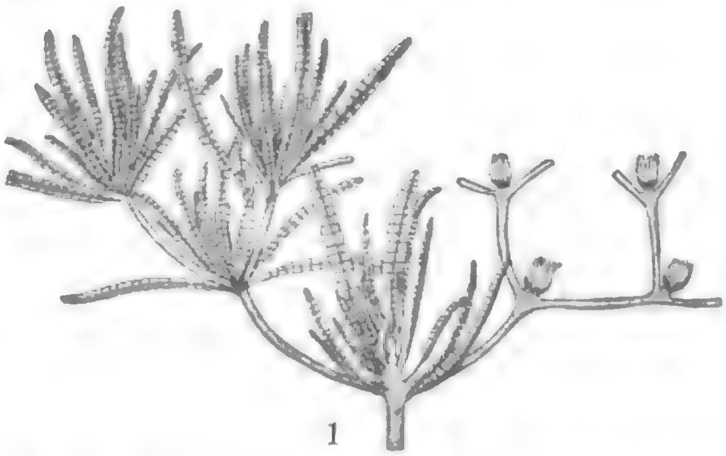


Fig. 39. Wielandiella angustifolia. Rekonstruiert. Nach Nathorst.

Fruchtteil bereits abgeworfen zu haben scheinen, so daß wahrscheinlich hier eine proterogynische Blüte vorlag, umgekehrt wie bei †Cycadeoidea.

Von den übrigen Typen erwähnen wir noch die einer Neuuntersuchung würdige †Weltrichia des bayrischen Rhät, ferner den interessanten †Cycadocephalus des schwedischen Rhät, der wiederum einen isolierten Typus der Bennettiteen darstellt.

Es ist ohne Zweifel, daß uns bei ferneren Untersuchungen über die Gruppe noch manche Ueberraschung bevorsteht. Mit Recht konnte Nathorst sagen, daß „während der langen Zeit, wo die Bennettitales die häufigsten Cycadophyten waren, unter ihnen wahrscheinlich beinahe ebensoviele Verschiedenheiten im Blütenbau vorkamen, wie z. B. unter den Vertretern einer der großen Angiospermenreihen der Jetztzeit".

Die prinzipielle Bedeutung der Bennettitales für phylogenetische Fragen, besonders der Angiospermenreihe liegt für den Botaniker auf der Hand. Obwohl in der Beblätterung, mit einigen Abweichungen untergeordneter Natur auch im Stammbau sich eng an die Cycadales anschließend, jedenfalls auch in dieser Beziehung echte Gymnospermen, zeigen sie einen Blütenbau, den man bei keiner Gymnosperme erwartet hätte. Schon die enge Abschließung der Samen gegen die Außenwelt bildet etwas entschieden Angiospermenhaftes, und die Blütenverhältnisse erinnern eher an diese als an Gymnospermen, wiewohl der Bau der Samen wieder die Cycadophytennatur mehr betont. Zwitterige Blüten bei Gymnospermen von Cycadeen-Charakter, Blüten, bei denen die Erscheinungen der Proterandrie und Proterogynie sehr wahrscheinlich ausgeprägt waren — eine solche Gruppe steht an Bedeutung dem Archaeopteryx ebenbürtig zur Seite. Fragt man sich, an welche Angiospermengruppen der Anschluß der Bennettitales sich am leichtesten vollziehen läßt, so wird besonders im Hinblick auf den Fruchtkörper die Antwort ohne Zweifel lauten: an die Polycarpicae (Ranales), und hier wiederum zunächst an die Magnoliaceen, von denen Wieland Liriodendron (den Tulpenbaum), einen sehr alten Magnoliaceentypus (S. 448), am ehesten heranziehen möchte. Hier ist daran zu erinnern, daß schon im De Candolleschen System die Ranales an den Anfang der Angiospermenreihen gestellt wurden, und daß Hallier die Magnoliaceen aus anderen Gründen bereits früher als die primitivsten Dicotyledonen angesprochen hatte, besonders wegen einzelner Genera, die durch den gefäßlosen Holzkörper stark an Gymnospermen erinnern. Bennittitales und Magnoliaceen und die anderen Angiospermen mögen von einer alten Wurzel abstammen; ob, wie manche wollen, eine direkte Ableitung von den Bennettiteen möglich ist, sei dahingestellt. Unter den lebenden Gymnospermengruppen ist übrigens eine, die Gnetaceen, die zwar meist bei jenen untergebracht wird, ob aber mit Recht, erscheint mindestens fraglich. Die Blätter tragen zum Teil dicotylen Charakter, ebenso das gefäßführende Holz; neuerdings werden auch die mit Perianth versehenen Blüten, auf die es ja bei dem „natürlichen" System in letzter Linie ankommt, als mehr angiosperm bezeichnet.

5d) Fossile Angiospermen. Die Zahl der fossilen Angiospermen ist überaus groß, wenigstens gilt das für die Dicotyledonen; die fossilen Monocotyledonen sind an Zahl weit geringer. Die meisten Reste sind aus dem Tertiär bekannt, wo sie sich in Unzahl, meist in Form von Blättern, oft als Begleiter der Braunkohlenflöze und zugleich als Reste der Braunkohlenbildner finden. Der größte Mangel der fossilen Angiospermenreste ist die Erhaltung meist in Gestalt von Blattresten, deren eindeutige Bestimmung oft sehr schwer oder unmöglich ist. Nun ist die Sache zwar nicht so schlimm, da oft pflanzengeographische Handhaben, mitgefundene Früchte und Samen, versteinerte Stämme weitere Winke bieten, da ferner in der Tat manche Blattypen an sich sehr charakteristisch sind. In vielen Fällen bleibt man aber über die wahrhaften näheren Verwandtschaftsverhältnisse der Angiospermenblattreste im Dunkeln, und die zahllosen Arten und Gattungen, denen die Blattreste zugewiesen worden sind, begegnen mit Recht Zweifeln. Daß die Ueberzahl der Angiospermenreste in Blättern besteht, hat einen einfachen Grund in der Tatsache, daß die in regelmäßig periodischem oder gleichmäßigem Fall abgeworfenen Blätter naturgemäß in der größten Fülle zur Einbettung gelangen und auch erhalten werden. Dies ist nun zwar mit Samen oder Früchten auch ähnlich der Fall, aber deren fossiler Erhaltung steht einmal ihre Natur im Wege (wie bei Beeren), andererseits die Nachstellungen von seiten der Tierwelt und ferner die Auskeimung der abgeworfenen Samen. Daher ist auch die Anzahl fossiler Früchte und Samen von Angiospermen, obwohl recht groß, unverhältnismäßig viel kleiner als die der Blattreste. Viel bessere Handhaben als diese bieten oft die intuskrustierten (echt versteinerten) Stämme, deren anatomische Einzelheiten oft noch bis in feine Details studierbar sind; deren Identifizierung erfordert aber wieder eine genauere Kenntnis der Anatomie lebender Holzgewächse und darum ein ganz spezielles Studium, das dem gewöhnlichen Systematiker zunächst völlig fern liegt. Man übersieht hier so recht die zahllosen Schwierigkeiten, die sich der Paläobotanik durch

Digitized by Google

die Erhaltung der Gesamtpflanzen in einzelnen Bruchstücken und Einzelteilen in den Weg stellen und die zu überwinden nur zum Teil möglich ist. Dies wird leider vielfach vergessen und Arten und Gattungen auf unzulängliche Blattschnipsel gegründet.

Bei der großen Zahl der beschriebenen Angiospermen können wir nur das Wichtigste herausgreifen und von den einzelnen Familien nur die wichtigsten Nachrichten über ihr fossiles Vorkommen herausheben. Einige in der Verwandtschaft unklare Sondertypen der Kreideflora werden wir am Anfang für sich behandeln.

Einer besonderen Erwähnung bedürfen noch die wenigen fossil gefundenen Blütenreste. Ueberaus gering ist ihre Anzahl in den Sedimenten, und wo es einmal zur Erhaltung von solchen gekommen ist, handelt es sich meist um sympetale Dicotyledonen; die choripetalen mit ihren sich einzeln ablösenden Blumenblättern sind zur fossilen Erhaltung noch weniger befähigt. Noch geringer ist die Zahl monocotyler Blütenreste. Eine Sonderstellung nehmen die im Bernstein mehrfach gefundenen Blütenreste („Einschlüsse") durch ihre ans wunderbare grenzende Erhaltung ein, die als meist unzweideutig bestimmbar wertvolle Dokumente der tertiären Pflanzenwelt bilden.

Bevor wir zur Besprechung der Angiospermenreste selbst übergehen, sei einiges Prinzipielle über ihr Auftreten, insbesondere die noch nicht genauer geklärte Altersfrage mitgeteilt.

In Deutschland, Oesterreich und den meisten Ländern von Europa liegen die Verhältnisse ziemlich einfach und klar. Die Wealden- und Neocomflora zeigt noch ausschließlich Gymnospermen und Pteridophyten, die sich den jurassischen eng anschließen, aber keine Spur einer Angiospermenpflanze. Die Flora der Gaultperiode bei uns ist überaus dürftig bekannt; man kennt aus ihr noch keine Angiospermen; bei der Dürftigkeit der Gaultpflanzen ist aber von einer Bewertung dieser Flora bis auf weiteres durchaus abzusehen. Im Cenoman finden wir auf einmal eine Menge Angiospermen, Dicotylen sowohl wie Monocotylen (Palmen); die mesozoischen Typen wie Bennettiteen, Matoniaceen (†Dictyophyllum, †Clathropteris) und andere Filices sind verschwunden. Neue Gymnospermen tauchen auf, kurz die Flora hat ein gänzlich verändertes modernes Gesicht. Bei uns schließt also das Pflanzenmesozoikum mit scharfem Schnitt mit dem Weald-Neocom ab; die Stellung des Gault ist unsicher. Das Cenoman, die obere Kreide, bezeichnet hier den Beginn des jüngsten Zeitalters des Pflanzenreichs, des Angiospermenzeitalters (Känophyticum). In der Zwischenzeit zwischen dem Cenoman und Neocom hat sich also bei uns die größte Umwälzung vollzogen, die die Geschichte des Pflanzenreichs kennt.

In anderen Gebieten der Erde scheinen die Verhältnisse etwas anders zu liegen. Sehen wir von der in ihren Altersverhältnissen nicht genügend gesicherten unteren Kreideflora von Portugal ab, so wären noch zu erwähnen dicotyle Blätter aus den Komeschichten von Grönland (?Gault). Auch nicht ohne Einwand dürfte das Gault-Alter eines Laurineenholzes von Madagaskar sein. Am wichtigsten und am längsten erörtert sind die Verhältnisse in Nordamerika. Hier hatte Fontaine aus den Potomac-Schichten, die dem Neocom gleichgestellt wurden, eine mesozoisch-känozoische Mischflora beschrieben, die neben zahlreichen Gymnospermen, auch Bennettiteen und Farnen zahlreiche in ihrer Verwandtschaft allerdings wenig klare Dicotylenblätter enthielt (leider keine Früchte). Wir würden also den Fall haben, daß in Nordamerika die Dicotylen bereits — menschlich gesprochen — sehr viel früher existiert hätten als anderswo, besonders bei uns. Nach neueren Untersuchungen Berrys liegt die Sache aber etwas anders. Fontaine hat eine Vermengung der Pflanzenreste zweier verschiedener Horizonte vorgenommen, die als Patuxent- und Patapsco-Formation bezeichnet werden. Die Patuxentformation enthält die mesozoischen Typen und entspricht unserem Neocom, die Patapsco-Formation enthält die Angiospermenreste und wird unserem Gault parallelisiert. Damit hat sich der Gegensatz zwischen dem Alter der nordamerikanischen und europäischen Dicotylen beträchtlich gemildert, ohne aber aufgehoben zu sein. Es scheint immer noch, als ob besonders in Nordamerika die Angiospermen früher aufgetaucht sind als anderswo, und daß die meisten europäischen Länder sie durch Zuwanderung von dort bekommen hätten, ist ein möglicher Gedanke. Allerdings sind die Typen unserer Cenomanflora nicht die der Patapscoflora, und, wie oben erwähnt, ist bei uns bei der Mangelhaftigkeit der Gaultflora immerhin die Möglichkeit vorhanden, daß sich in dieser Formation die ersten Dicotylen noch finden werden.[1])

Die Frage, welche der beiden Dicotylenreihen, Dicotylen und Monocotylen, die älteren sind, läßt sich an Hand des bekannten Materials nicht beantworten. Die Patapscoflora enthält einige vor kurzem bekannt gemachte Monocotylen, so daß ein Altersunterschied nicht bemerkbar ist.

Dagegen läßt sich die Frage, welche von

[1]) Soeben werden in der Tat von M. Stopes Dicotylenhölzer aus englischem Gault bekannt gemacht (9. Juli 1912).

Digitized by Google

den beiden großen Abteilungen der Dicotylen die ältere sei, mit ziemlicher Sicherheit dahin beantworten, daß die Sympetalen (Verwachsenkronblättrigen), die höher entwickelte Gruppe, später auftaucht als die Choripetalen (Getrenntkronblättrige). Die ersteren sind mit Sicherheit erst im älteren Tertiär nachzuweisen; die Dicotylen der Kreide waren, soweit die Reste eindeutige Verwandtschaftsbeziehungen erkennen lassen, Choripetale (hier inclusive der sogenannten Apetalen gemeint). Die paläontologischen Tatsachen stehen also auch hier wieder im Einklang mit den Forderungen der Systematik des Pflanzenreichs.

Versuchen wir nunmehr einen kurz gedrängten Einblick in die fossile Angiospermenwelt zu geben.

Aeltere Reste von zweifelhafter Verwandtschaft. Obwohl in ihren Verwandtschaftsverhältnissen mit lebenden Gruppen durchaus zweifelhaft, bieten eine Anzahl dieser Typen doch äußerlich viel Charakteristisches, sie gehören zum Teil zu den häufigsten Fossilien der betreffenden Schichten. Hier sind zunächst zu nennen die †Credneria-Arten (nur Blätter) der oberen Kreide, deren Blätter im Harzer Senon, in ähnlichen Schichten Böhmens und auch Westfalens zu den häufigsten Dicotyledonen gehören. Ob sie den Platanen, die im Tertiär jedenfalls schon vertreten waren, verwandt sind oder etwa den Urticaceen, woran andere gedacht haben, ist beides gleich zweifelhaft. Ueber die obere Kreide gehen sie nicht hinaus. Nicht viel besser ist es mit den hand- bis fußförmig geteilten †Dewalquea-Blättern, die in der oberen Kreide und im Eozän häufige Bestandteile der Flora bildeten. Sie wurden mit Urticaceen (vgl. das Cannabisblatt), mit Araliaceen oder mit den fußförmigen Blättern von Helleborus verglichen; die Unsicherheit ist hier womöglich noch größer als bei den Crednerien.

Zahlreich sind die zweifelhaften Typen bei den Potomacdicotylen, von denen hier einige genannt seien (nach der neuen Bearbeitung von Berry, Maryland Geolog. Survey 1911), es sind ausschließlich Blätter. Manche Namen deuten die vermutete Verwandtschaft ohne weiteres an wie †Populophyllum, †Sapindopsis (dem Sapindus falcifolius von Oeningen ähnlich), †Celastrophyllum, †Cissites, letzterer mit charakteristisch tief gelappten Blättern, den Cissus-Arten aus der Vitaceenfamilie ähnlich. Mehr oder weniger handförmig geteilte Blätter werden als †Araliaephyllum, andere Typen als †Ficophyllum, †Proteaephyllum bezeichnet, ohne daß ihre Verwandtschaftsverhältnisse klar lägen. Eigentümlich sind die „Phylliten" aus dem Braunjura von England von dicotylem Habitus. Es sind oval-lanzettliche, gestielte Blätter von Fagus silvatica-Größe, die man aber trotzdem wegen des hohen geologischen Alters nicht zu dieser Klasse rechnet. Seward macht mit Recht darauf aufmerksam, daß fossile Gnetum-Blätter als Dicotyledonen aufgefaßt werden würden; diese Gruppe war schon S. 444 berührt worden. Diese Phylliten bleiben bis auf weiteres Problematica wie auch das †Propalmophyllum liasinum Ligniers aus dem Lias von Frankreich (einem Sabal-Blatt ähnlich), das Lignier den Palmen, einer ebenfalls erst im Cenoman erscheinenden Gruppe, annähert; es handelt sich aber möglicherweise um ein ganz unorganisches Gebilde.

a) Fossile Monocotyledonen. Wie bereits bemerkt, ist die Zahl der bestimmbaren Monocotyledonenreste recht gering, verschwindend gegen die Dicotylen. Am zahlreichsten und wichtigsten sind die Palmenreste, von denen Blätter und Stammreste, letztere meist verkieselt erhalten sind. Von Palmen kommen Arten mit fiederigen und fächerförmigen Blättern vor. Die ersteren werden meist der Gattung Phoenix (Dattelpalme) genähert, die letzteren den Chamaerops- und Sabal-Arten. Wir nennen von ihnen †Phoenicites borealis, Sabal †haeringiana und Chamaerops †helvetica. Die fossilen Palmen finden sich bei uns (nördlich der Alpen) in der Regel nur bis zum Oligozän, der unteren Braunkohlenformation. Nur ausnahmsweise scheinen sie auch noch im Miozän vorzukommen, wie die ebenfalls zu den Palmen gerechneten als †Palmacites Daemonorhops bezeichneten Reste. Reich an Palmen muß die Eozänperiode gewesen sein, aus der besonders die als †Nipadites bezeichneten Samen erwähnt seien, die man als der Nipa-Palme des Sunda-Archipels nahe verwandt ansieht. Die ältesten Palmenreste finden sich bereits im Cenoman; die Gruppe stellt also eine der ältesten existierenden dar. In der Patapsco-Formation („Potomac") ist noch keine Palme bekannt geworden. Die Sabal-ähnlichen Palmen im Oligozän bei uns mögen ähnlich wie Sabal palmetto in Florida zum Teil Unterholz der Braunkohlenmoorvegetation gebildet haben.

Die ältesten Monocotylen wären zweifellos die aus der Patapsco-Formation Nordamerikas, aus der ein Alismaphyllum (also mit Alismaceen verglichen) und ein †Cyperacites potomacensis kürzlich bekannt geworden ist; letzterer wenigstens mit Blüte und schmalen Blättern dürfte zweifellos mit Recht als solcher gedeutet sein. Zahllos sind im Tertiär (aber auch schon in der Kreide, z. B. den Komeschichten Grönlands) die monocotylen Blattstücke, denen überflüssigerweise sogar Artnamen beigefügt sind;

Digitized by Google

man findet sie unter Sammelgattungen wie †Cyperites, †Poacites u. dgl. aufgeführt. Mehr, als daß sie von Glumifloren abstammen, kann man von ihnen kaum sagen.

Als bemerkenswerte fossile Monocotyledonen seien noch die folgenden genannt. Phragmites †öningensis, auch durch Rhizomstücke bekannt, gehört zu den häufigeren Monokotylenresten des Tertiärs. Eine Anzahl breiterer Blätter von Monocotylentypus sind als †Convallarites, †Majanthemophyllum beschrieben worden; etwas sicherer dürften die mit der Smilax-Art der Mediterrangebiete verglichenen Blätter wenigstens zum Teil sein (nach Conwentz auch eine Blüte im Bernstein). Auch Potamogeton wird im Tertiär angegeben; im Tertiär von Spitzbergen Acorus †gramineus Heer. Die als †Kaidacarpum bezeichneten und zu den Pandanaceen gerechneten Früchte, die schon seit dem Rhät-Jura angegeben werden, haben — wenigstens die präcretacischen — mit Pandanaceen nichts zu tun, sondern diese älteren haben sich als Equisetaceenblüten herausgestellt. Juncaceen und Iridaceen scheinen ebenfalls schon im Tertiär vorzukommen (Iris †Escheri, Oeningen). Dracaena soll nach Saporta noch im Eozän und Oligozän des südlichen Frankreichs vorkommen. In diesen Gegenden sind auch die in Blättern, Stammresten, Wurzeln und Blütenständen bekannten †Rhizocaulon-Reste gefunden, jedoch die Einzelteile nicht im organischen Zusammenhange. Die Blätter sind schilfähnlich, breit; die Blüten stehen in Rispen und ähneln Cyperaceen; Stamm- und Wurzelanatomie sind auch bekannt. Es scheint sich um einen mit Cyperaceen verwandten Typus zu handeln. Daß die jüngeren Monocotylen des Diluviums und Alluviums den heutigen gleichen, sei noch erwähnt. Man kennt von ihnen meist Früchte aus Torflagern, so Potamogeten, Cariceten und andere Cyperaceen, Najadaceen usf., meist also solche von Hygrophyten.

β) Fossile Dicotyledonen. Aus den Salicaceen sind sehr viele fossile Arten angegeben worden. Populus wird schon aus der Potomac-Gruppe angegeben und aus den Kome-Schichten Grönlands und hat dann in der Tertiärzeit eine große Häufigkeit, von wo Blätter- und Blütenreste vorliegen; Typen wie Populus †latior, †balsamoides und andere kehren in den Tertiärfloren häufig wieder. Von den vielen angegebenen Salix-Blättern dürfte der größte Teil unsicher sein, wie das bei der Verschiedenheit der Salix-Blätter einleuchtet; es sind aber auch einige Blütenreste bekannt.

Ebenso zahlreich sind die angegebenen fossilen Betulaceen, meist Blatt-, zum Teil aber auch Fruchtreste (Alnus †kefersteini, Betula †prisca und andere); die Gruppe soll vom Eozän an vorkommen.

Aus der Coryleen-Gruppe sind ebenfalls fossile Zeugen bekannt, Carpinus mit der charakteristischen Cupula, Corylus und Ostrya fehlen nicht. Corylus Avellana kommt anscheinend schon in derselben Art wie heute im Miozän von Senftenberg vor.

Zahlreich und zu den ältesten Pflanzengruppen gehörig sind die fossilen Cupuliferen. Fagus soll schon in der oberen Kreide Nordamerikas auftreten, häufig ist sie im Tertiär. Im Tertiär Japans kommen dort heute noch lebende Typen vor wie Fagus ferruginea; unsere Fagus silvatica tritt seit dem Pliozän (Rheingebiet) auf, auch noch im Präglazial, fehlt dagegen im Interglazial (s. 5e). Castanea wird öfter fossil angegeben. Arten der Nothofagus-Gruppe der Südhemisphäre finden sich ebenfalls fossil, und zwar in denselben Regionen wie heute, nur auch mehr südlich (bis 65° s. Br., s. 5e). Wichtiger sind die Quercus-Reste. Hiervon treten bei uns im Tertiär eine ganze Anzahl amerikanischer Typen auf (Quercus †oligodonta und andere), ferner Quercus ilex, und in größerer Zahl unseren lebenden heimischen Eichen ähnliche, meist Blätter; die Gattung wird schon aus der Kreide angegeben. Hier finden sich auch wie im Eozän die als †Dryophyllum bezeichneten Blätter, die man als tropischen Eichen verwandt ansieht. Von wunderbarer Erhaltung sind die Eichenblüten im Bernstein (Quercus †piligera), die hier nicht vergessen sein sollen.

Von den Juglandaceen besitzen wir besonders durch die sehr widerstandsfähigen Früchte zahlreiche einwandfreie fossile Dokumente. Auffallend sind wiederum zahlreiche nordamerikanische Typen wie Juglans nigra, Carya-Arten. Auch Pterocarya ist fossil bekannt.

Sehr wichtig sind die fossilen Myricaceenreste. Myrica †lignitum und die der Unterabteilung Comptonia angehörige Myrica †acutiloba (ähnlich Myrica asplenifolia) finden sich in zahlreichen Lokalfloren des Tertiärs. Diese zum Teil harzreiche Pflanzengruppe dürfte ein Mitlieferant des Harzreichtumes der hallischen Schwelkohlen gewesen sein. Ueber die Verwechslung mit Proteaceen siehe bei diesen.

Aus der Ulmus-Gruppe sind die fossilen Reste ebenfalls zahlreich, und verschiedenen Gattungen angehörig. Die schiefen Ulmus-Blätter findet man seit dem Oligozän, aber auch die bekannten Früchte in mannigfaltigen Formen. Häufig sind auch die charakteristischen Planerablätter (Planera †Ungeri);

Digitized by Google

diese Gattung ist heute nordamerikanisch und transkaukasisch.

Von der Urtica-Familie scheint Humulus und Cannabis im Tertiär vorzukommen; zahlreich und bedeutsamer sind aber die fossilen Moraceen, eine offensichtlich sehr alte Gruppe. Zu den ältesten und zugleich sichersten Resten gehört der aus Kreide Grönlands stammende Artocarpus-Rest (Blatt und Fruchtrest). Zahlreich sind die beschriebenen Ficus-Arten, meist wenig sichere Blätter. Als sicher gilt die im Tertiär sehr häufige Ficus †tiliaefolia, auch mit Frucht bekannt. Die bekannte Ficus carica findet sich fossil im Pliozän von Südfrankreich. Wichtig für das Auftreten der eigentlichen Urticineen im Tertiär ist die im Bernstein aufbewahrte Forskohlea-ähnliche Blüte (†Forskohleanthemum nudum), diese Gattung kommt in Südspanien heute noch in Europa vor.

Aus der großen Gruppe der meist krautige Gewächse umfassenden Centrospermen sind nur dürftige fossile Zeugen bekannt (Salsola-Früchte); um so zahlreicher und wichtiger sind die der Polycarpicae (Ranales), die Vielfrüchtlerfamilien, auch hier allerdings fast nur die Holzgewächse. Unter den einzelnen Familien sind zunächst zu nennen die Laurineen oder Lorbeergewächse, im Tertiär, speziell dem Oligozän überaus zahlreich. Zweifellos gehören sie zu den ältesten Dicotylen wie auch andere Familien der ganzen Reihe. Aus der jüngeren Kreide werden Blätter angegeben; aus dem Gault von Madagaskar ein Laurineenholz; solche Hölzer treten auch sonst zahlreich im Tertiär auf (†Laurinoxylon, †Perseoxylon, †Ocoteoxylon). Die Blätter werden meist direkt auf lebende Gattungen bezogen (Laurus, Benzoin, Sassafras, Persea), aber wohl nicht immer mit Recht; sie finden sich bis nach Grönland hinauf. Interessant sind die häufigen Cinnamomum-(Zimtbaum-)Arten, die im Oligozän und Miozän zu den häufigsten Tertiärfossilien gehören, wie C. †Scheuchzeri und †lanceolatum. Ja selbst noch im Obermiozän (Oeningen) und noch im rheinischen Pliozän finden sich ihre Spuren (Stoller). Die richtige Deutung der zahlreichen Blattreste wird durch gleichzeitige Funde von Blütenständen bei Oeningen gewährleistet, besonders aber durch die wunderbar erhaltenen Cinnamomum-Blüten des Bernsteins.

Dürftig und zum Teil unsicher sind die fossilen Zeugen der Anwesenheit der Berberidaceen und Menispermaceen, letztere schon in der Kreide von Nordamerika und Europa angegeben (Cocculus, †Menispermites), zahlreich und wichtig dagegen die der Magnoliaceen, die schon bei den †Bennettiteen (S. 441) berührt wurden. Diese Gruppe gehört zu den ältesten bekannten Dicotylen, bis in die Kreide hinunterreichend. Für Liriodendron haben die Amerikaner nach Blattresten einen förmlichen Stammbaum für den heutigen Blatttypus aufgestellt. Auch von Magnolia sind Blätter zahlreich bekannt, im Tertiär bis nach Grönland; aber auch Früchte fehlen nicht, die, wenn auch schlecht erhalten, schon im Cenoman von Moletein, häufiger im Tertiär auftreten. Auch Drimys der patagonischen Regenwälder ist fossil (Seymour-Insel) im Tertiär gefunden (über die Analogien dieser Familie mit den Bennettiteenblüten s. S. 444).

Die fossil nächstwichtige Polycarpicae-Familie bilden die Nymphaeaceen, deren charakteristische, große, radialadrige Blätter kaum mit etwas anderem zu vermengen sind. Daß sie schon in der Kreide vertreten waren, ist ohne Zweifel, und schon die †Nelumbites-Arten des oberen Potomac dürften kaum verkannt sein. Im Tertiär kamen sie wie viele andere jetzt weit südwärts gedrängte Gewächse bis in die Arktis (Spitzbergen Grönland) vor. Nymphaea hat Blätter, Rhizome, Früchte und Samen hinterlassen. Auf die Erwähnung einzelner †Nymphaeites und †Nelumbites-Arten verzichten wir hier. In den Torfablagerungen des Quartärs treten unsere heutigen Arten häufig auf; im Interglazial Rußlands (Lichwin) sind neuerdings Samen der ostasiatischen Euryale (wahrscheinlich die lebende Art E. ferox selbst) gefunden worden.

Cruciferen und Papaveraceen werden zwar auch fossil angegeben, indes sind die Reste wohl nicht als befriedigend anzusehen (†Papaverites aus dem Oligozän von Sachsen), und spärlich gesät sind auch die fossilen Spuren der Cistifloren. Hier ist eine von Conwentz aus dem Bernstein beschriebene dreikantige Frucht (†Cistinocarpum), zu den Cistaceen gerechnet, aber nach Schenk vielleicht auch eine Violacee, erwähnenswert. Der Bernstein hat noch 2 zu dieser Gruppe gebrachte Blütenreste geliefert, von denen besonders die Stuartia-Blüten interessieren, zu den Ternstroemiaceen gehörig; die Gattung kommt heute in Ostasien und Nordamerika vor. Schließlich seien aus dieser Reihe noch die fossilen Dipterocarpaceen aus dem Tertiär von Borneo erwähnt, einem Gebiet, wo die Familie heute noch beheimatet ist.

Zahlreicher sind wieder die fossilen Columniferen (Malvales), von denen besonders wichtig die Tiliaceen sind. Die Existenz von Tilia im Tertiär ist durch mit Frucht erhaltene Blütenhochblätter ohne Zweifel (T. †vindobonensis Stur); nach den Blatt- und Fruchtresten kam die Gattung bis nach Spitzbergen hinauf vor (Tilia

Digitized by Google

†Malmgreni Heer). Im japanischen Tertiär kamen nach Nathorst den lebenden sehr nahe verwandte Arten vor; die bei uns jetzt lebenden Arten finden sich in quartären Ablagerungen. Auch Reste der Gattung Grewia sind fossil angegeben worden; zu Elaeocarpus werden Steinfrüchte gerechnet, so im Tertiär des Samlandes und von Senftenberg (Elaeocarpus †globulus Menz. und andere). Zu der in Guiana und Brasilien beheimateten Gattung Apeiba rechnet man Fruchtreste, die besonders im Eozän der Insel Wight vorkommen (†Apeibopsis); sie soll sogar in der Kreide schon vorhanden sein.

Auch die Sterculiaceen, heute fast rein tropischer Verbreitung, dürften schon in der Kreide ihren Lauf begonnen haben, jedenfalls aber sind vom Eozän an durchs Tertiär hindurch zahlreichere Reste davon bekannt. Sterculia †labrusca ist eine der häufigeren Formen im Oligozän und Eozän; einige Arten werden noch im Obermiozän von Oeningen und sogar im Pliozän des Cantal angegeben. Auch die der Gattung Dombeya zu nähernden †Dombeyopsis-Arten des Tertiärs seien noch erwähnt. Daß die Bombacaceen des tropischen Amerika („Wollbäume"), im Blütenbaue den Malvaceen sehr nahestehend, im Tertiär vorhanden waren und zwar auch in Europa, dafür dürfte besonders die Blüte von Bombax †sepultiflorum aus den Gypsen (Oligozän) von Aix beweisend sein.

Die wenigen fossilen Geraniales übergehen wir und wenden uns den zahlreicheren Resten der Terebinthinen zu, Kräutern und Bäumen mit viel ätherischen Oelen. Von den Rutaceen sind nicht viele Fossilien hinterlassen worden. Im Pliozän von Japan hat Nathorst Dictamnus fraxinella nachgewiesen; häufiger findet man im europäischen Tertiär Zanthoxylon-Blätter angegeben, auch im nordamerikanischen; jetzt kommt die Gattung in Europa gar nicht mehr wild vor (Afrika, Asien).

Die in Europa und Amerika jetzt fehlende Gattung Ailanthus (Simarubaceen), oft bei uns angepflanzt, ist durch Früchte im Tertiär in Europa zweifellos nachgewiesen, ebenso in Nordamerika, und dürfte wohl den späteren ungünstigen Klimaverhältnissen erlegen sein.

Zahlreich sind die fossilen, zu den Anacardiaceen gezogenen Reste, die besonders von der Gattung Rhus zahlreich angegeben werden, ferner von Pistacia und einigen anderen. Ein großer Teil dieser Anacardiaceen ist aber zweifelhaft. Von den beschriebenen Pistacia-Arten schon des Oligozäns stimmen manche so vollkommen mit lebenden Arten überein, daß eine spezifische Abtrennung großen Schwierigkeiten begegnet, so bei Pistacia †oligocenica und †narbonnensis, die mit Pistacia Lentiscus, und bei Pistacia †miocenica, die mit Pistacia Terebinthus nahe verwandt ist. Die erwähnten Reste finden sich im heutigen Gebiet der Gattung, sie kam aber auch gleich vielen anderen nördlicher vor, wie Reste von Bilin (Böhmen) beweisen; auch aus der Braunkohle der Wetterau werden unter anderem solche angegeben. Von Rhus finden wir schon im Tertiär nahe Verwandte der lebenden Arten, so Rhus Cotinus-ähnliche in der Schweiz und Rhus †palaeocotinus im oberen Oligozän von Armissan (Frankreich). Auch diese Art haben bei uns, wo sie jetzt angepflanzt gut gedeiht, die Unbilden des Quartärs vertrieben; sie kam aber zu ihrem Glück auch in eisfrei gebliebenen Gebieten des Südens vor und persistierte auf diese Weise in Europa bis heute. Von den übrigen Sektionen und Arten von Rhus (Cotinus gilt oft als eigene Gattung) sind Blüten und Früchte bekannt. Wir finden Reste wieder in dem reichen Material von Oeningen, ferner im Tertiär Japans unter anderem eine heute noch lebende Art (Rhus Griffithii) usw. Angeblich soll die Gattung schon in der Kreide auftreten, so in der Dakota-group Nordamerikas (Rhus coriarioides Lesq. und anderes mehr), in Grönland und im Cenoman von Moletein; nach Engler dürften die Grönländer Reste sicher sein. Im Tertiär Europas spielen Rhus-Blätter häufig eine Rolle. Auch die Gattung Coriaria (Rhus Coriaria) war im Tertiär vertreten, besonders durch Coriaria †longaeva von Armissan (Oligozän).

Zahlreich sind auch die Reste aus der nächsten Pflanzenreihe, den Aesculinen (Sapindales), von denen fossil bekannt Sapindaceen, Aceraceen und Malpighiaceen sind. Von den Sapindaceen sind nach Schenk die besonders schön bei Oeningen erhaltenen Blätter von Sapindus †falcifolius vielleicht sicher; auch Früchte sind von der Gattung angegeben worden. Aus dem genannten Vorkommen stammen auch als Koelreuteria angegebene Blätter, die mindestens der lebenden Art (K. paniculata) recht ähnlich sind. Darnach hätte diese wie viele andere im Tertiär ein weites Verbreitungsgebiet gehabt; heute ist sie ähnlich Ginkgo und Glyptostrobus auf Ostchina beschränkt. Die Roßkastanie (Aesculus) hat ebenfalls im Tertiär schon Vorläufer gehabt, die damals (Pliocän) bis nach Galizien und Frankfurt a. M. hinauf vorkamen; schon im Untermiozän werden ihre Spuren angegeben. Es liegt auch hier wohl ein nur zufällig noch in Südeuropa (Griechenland) erhaltener Tertiärtypus vor.

Zahlreich und wichtig sind die fossilen

Digitized by Google

Aceraceen, von denen eine ganze Reihe von Arten beschrieben sind, Blätter und Früchte. Ein größerer Teil dieser ist aber zu beanstanden, wie Pax, der Monograph der Acerineen, angegeben hat. Die Kreidearten von Acer (Nordamerika und Grönland) dürfen Zweifeln begegnen; mit dem unteren Oligozän ist aber die Existenz der Gattung zweifellos, da sich auch Früchte finden. Die Gattung, die heute 57° n. Br. kaum überschreitet, kam damals in Grönland, Island und Spitzbergen vor (bis ca. 78° n. Br.). Man hat versucht die fossilen Acer-Arten in die unterschiedenen Gruppen der lebenden Gattung einzureihen; dies näher mitzuteilen, ist hier nur zum Teil möglich. Die häufigste Art ist der vielgestaltige Acer †trilobatum, seit dem unteren Oligozän auftretend, im Miozän eine Verbreitung fast auf der ganzen Nordhemisphäre erreichend (Sachalin — Nordamerika — Europa). Andere fossile Acer-Arten derselben Gruppe (Palaeorubra) sind Acer †grossedentatum, †dasycarpoides usw. Acer †arcticum, †ambiguum gehören der Palaeospicata-Gruppe an, die fossil nur spärlich vertreten ist. Spärlich sind auch aus mehreren anderen Gruppen fossile Reste vorhanden, dagegen zahlreich aus den Palaeocampestria. Aus dieser Gruppe erwähnen wir, daß unser Acer campestre schon im Miozän (Schlesien, Steiermark) angetroffen wird. Acer †crassinervium, nach Pax die Stammart von Acer monspessulanum, hatte eine weite Verbreitung von Südeuropa bis zu Orstsee; letztere Art selbst findet sich schon im Miozän von Frankfurt a. M. Die Sektion Saccharina, heute rein nordamerikanisch, war im Tertiär auch in Europa vorhanden (Acer †palaeosaccharinum). Auffallend ist die geringe Zahl der nordamerikanischen fossilen Acer-Arten.

Oefter durch die ebenfalls geflügelten Früchte mit Aceraceen verwechselt sind Malpighiaceen, so ist eine von Göppert als Acer bestimmte Frucht aus schlesischem Miozän eine Malpighiacee (Banisteria („Acer") †gigantea); dieselbe Art auch von Heer als Acer aus Schweizer Tertiär angegeben.

Die Reihe der Frangulinen (Rhamnales) mit den wichtigeren Familien der Celastraceen, Pittosporaceen, Aquifoliaceen, Vitaceen und Rhamnaceen ist fossil ebenfalls nicht spärlich vertreten. Die Existenz der heute meist extra-europäischen Celastraceen im Tertiär bei uns wird durch die im Bernstein gefundene Blüte (†Celastrinanthium Hauchecornei Conwentz) garantiert. Schlechter ist man mit den Blattresten von „Celastrus", Evonymus und Pittosporum der nahe verwandten Pittosporaceen daran. Die Existenz dieser Familie bei uns (Gattung Billardiera) wird aber durch die Bernsteinblüte (†Billardierites) andererseits wieder gesichert.

Beträchtlich ist die Zahl der fossil angegebenen Aquifoliaceen, meist der Gattung Ilex angehörig, von der auch Blüten im Bernstein bekannt sind (Ilex †minuta, Ilex †prussica). Im Tertiär Europas und Nordamerikas wäre die Gattung auch nach den Blattresten weit verbreitet gewesen in einer beträchtlichen Anzahl von Arten. Von den Rhamnaceen liegen gleichfalls eine ganze Anzahl von Angaben über fossiles Vorkommen vor, die sich auf die Gattungen Paliurus, Zizyphus, Berchhemia, †Rhamnites, Ceanothus und andere verteilen. Die Blätterbestimmungen sind wie meist zum Teil mit Vorsicht aufzunehmen.

Wichtiger ist die Familie der Vitaceen, die, wenn die Cissites-Arten des Potomac dazu gehören, mit zu den ältesten Dicotylen gehören würde. Im Tertiär ist die Gattung Vitis durch die charakteristischen Beerenkerne (Vitis †teutonica, Vitis †Olriki, †arctica) zweifelsfrei nachgewiesen. Ebenso wie in Grönland sind solche in England (Bovey Tracey) und in Deutschland (z. B. Wetterau) gefunden worden.

Die nächste Reihe (Tricoccae) hat nicht viele fossile Spuren hinterlassen. Euphorbiaceen-Blätter sind im Tertiär mehrfach angegeben worden. Sicheres bietet aber in erster Linie wieder ein Blütenrest des Bernsteins, nach Conwentz der Gattung Antidesma angehörig, und zwar verwandt einer in Japan lebenden Art. Von den Buxaceen kam unser Buxus sempervirens im Pliozän von Montpellier und la Celle vor.

Unter Doldenblütlern (Umbelliflorae) sind fossile Zeugen der Cornaceen und Araliaceen vorhanden. Die Funde im Tertiär Europas beweisen jedenfalls soviel, daß diese in Ostasien besonders entwickelte Familie früher auch bei uns vielgestaltig entwickelt war, während jetzt nur Hedera helix davon übrig geblieben ist. Einer der bemerkenswertesten Araliaceen-Reste ist Cussonia †polydrys (Tertiär von Euboea), einer heute in Abessinien, am Cap und Neuseeland vorkommenden Gattung, die den lebenden Arten zum Teil recht ähnlich ist. Sonst sind Aralia- und Panax-Blätter aus dem Tertiär Europas, Japans und von Nordamerika angegeben worden, auch Hedera-Arten (sogar angeblich seit der Kreide); Hedera helix war im Pliozän schon vorhanden (Montpellier, la Celle und andere mehr).

Von den Cornaceen werden Reste der Gattung Nyssa mehrfach angegeben, als Nyssites noch im Pliozän von Frankfurt

Digitized by Google

a. M., allerdings, wie die Endung -ites andeutet, mit Reserve. Heute ist die Gattung in Nordamerika (z. B. in den Taxodium-Swamps) und in Asien zu finden. Zahlreicher sind die Cornus-Arten des Tertiärs, schon seit der Kreide angeblich vorhanden, wie der häufigere Cornus †rhamnifolia; Cornus †mucronata von Oeningen (Blütenhochblätter) ist mit Cornus florida verwandt.

Unter den Saxifraginen sind namentlich die Gruppen der Cunonieen, der Hamamelidaceen und Platanaceen fossil vertreten. Daß die eigentlichen Saxifragaceen im Tertiär vertreten waren, bezeugen die im Bernstein erhaltenen als Stephanostemon von Conwentz bestimmten Blüten (St. †Helmi und Stephanostemon †brachyandra); die anderen Reste übergehen wir hier.

Wichtig sind dagegen die fossilen Hamamelidaceen, besonders durch die Häufigkeit von Liquidambar (Liquidambar †europaeum) im Tertiär Deutschlands, Italiens, Grönlands und der Schweiz. Von dieser öfter mit Acer verwechselten Art liegen neben Blättern auch Früchte vor, die ihre Existenz noch im Pliozän z. B. von Frankfurt a. M. garantieren. Im Oligozän und Miozän sehr häufig, findet sich die Gattung anscheinend schon in der Kreide (Nordamerika); die lebende Parallelart zu Liquidambar †europaeum (L. orientale) ist in Kleinasien und Syrien zu Hause, also offenbar durch die Ungunst des quartären Klimas verdrängt worden (in Nordamerika das nahe verwandte Liqu. styracifluum). Wichtig ist noch eine als Hamamelis-Blüte angesprochene Blüte im Bernstein (†Hamamelidanthemum succineum), die eine greifbare Unterlage für diese Gattung bietet.

Unzweifelhaft sind auch die fossilen Platanaceen, unter denen Platanus †aceroides am wichtigsten ist, im Tertiär von Nordamerika, Grönland, Island und Spitzbergen wie im europäischen nachgewiesen. Platanus fehlt heute in ganz Mitteleuropa, und ist auf die Mittelmeerregion und das atlantische Nordamerika beschränkt worden, was sich mit ihrer tertiären Verbreitung sehr gut verträgt. Ueber die eventuelle Verwandtschaft mit Credneria der Kreide war schon Seite 446 das Nötige bemerkt worden.

Von den Myrtifloren kennt man ebenfalls zahlreiche und zum großen Teil zweifelsfrei unterzubringende fossile Reste. Zu nennen sind zunächst zahlreiche Funde von Trapa-Arten, deren harte Nüsse zur fossilen Erhaltung trefflich geeignet sind. Die Gattung tritt sicher schon seit dem Oligozän auf, und Formen wie Trapa †silesiaca und andere scheinen sich weiter Verbreitung erfreut zu haben. Die lebende Trapa natans findet sich öfter im Quartär in Torfen fossil. Die Reste der fossilen Rhizophoraceen, Combretaceen und Melastomaceen übergehen wir; sie scheinen recht unsicherer Natur. Beträchtlich aber und zum Teil auf besseren Füßen stehend sind die fossilen Myrtaceen; von diesen sind außer vielen zweifelhaften Blättern auch Früchte gefunden worden. Von diesen sei Eucalyptus †oceanica aus dem Oligozän von Häring in Tirol genannt, der wenigstens das Vorkommen der Gattung sehr wahrscheinlich macht. Besser als diese sind die in der böhmischen Kreide sich findenden Eucalyptus †Geinitzi Vel., der sich auch sonst angegeben findet. Es sind zum Teil ganze Bruchstücke beblätterter Blütensprosse. Die Zugehörigkeit der zu den Gattungen †Callistemophyllum (Callistemon), Eugenia, Metrosideros und Myrtus gerechneten Blätter ist zum Teil weniger gewiß. Myrtus communis kommt im Quartär von Montpellier (und sonst) vor, ein interessantes Vorkommen, ebenso wie das von Punica †Planchoni Sap. im Pliozän von Meximieux (Südfrankreich), von der lebenden Punica Granatum kaum zu unterscheiden.

Unter den Thymelaeinen findet man die wichtigsten, oft diskutierten Reste unter der in ihrer systematischen Stellung wenig gesicherten Familie der Proteaceen. Aber auch aus den Thymelaeaceen findet man öfter fossile Reste, der Gattung Daphne meist zugerechnet, angegeben. Es sind die Blüten und Blätter; auch im Bernstein sind mit Daphne verglichene beblätterte Zweiglein (†Eudaphniphyllum) bekannt geworden. Wohl unsicher sind auch die fossilen Elaeagnaceen zu nennen, von denen aber das quartäre Vorkommen von Hippophaes rhamnoides in Schonen erwiesen ist.

Wenden wir uns jetzt zu den fossilen Proteaceen. Die Familie ist jetzt vollständig auf die Südhemisphäre beschränkt; trockenere Gebiete von Australien sind ihre Hauptheimat; in größerer Anzahl kommt sie noch in Südafrika, in geringerer in Südamerika vor. Es sind Bäume und Sträucher mit dick-lederigen, oft stacheligen Blättern. Die Existenz dieser Familie im europäischen Tertiär wurde von einer ganzen Anzahl von Autoren behauptet. Speziell Ettingshausen, Unger und seine Schule vertraten energisch die Anwesenheit des „australischen Elements in der europäischen Flora". Wir finden angegeben Gattungen wie Persoonia, Lomatia, Embothrium, Hakea, Grevillea, Dryandra usw. Es ist klar, daß die Anwesenheit dieser Familie

Digitized by Google

im europäischen Tertiär ein sehr wichtiges pflanzengeographisches Problem bietet; nach dem, was man sonst von der Tertiärpflanzengemeinschaft weiß, ist dies nicht gerade wahrscheinlich. Am eindringlichsten hat sich gegen diese Annahme Schenk gewandt, der dartat, daß der größte Teil, wenn nicht die sämtlichen als Proteaceen angegebenen Blätter (auch einige Früchte) auch anderer Deutung fähig sind; namentlich hat nach ihm auch die Familie der Myricaceen, die Sektion Comptonia, zu Mißdeutungen der als Dryandra usw. bezeichneten Blätter Veranlassung gegeben. Jedoch stehen noch heute einige Autoren auf dem anderen Standpunkt. Wie Schenk hat auch Pax diese Proteaceen abgelehnt, und solange nicht zwingendere Gründe vorhanden sind, darf man den Proteaceen im europäischen Tertiär mißtrauen. Keinen Zweifeln begegnen dagegen die von Dusén aus der Antarktis (Seymour-Insel, 65° südlicher Breite) angegebenen Typen, mit heute in Südamerika beheimateten Proteaceen verwandt.

Von der großen Reihe der Rosales sind die fossilen Reste der Leguminosen zahlreicher und meist besser gesichert als die der eigentlichen Rosifloren. Im Diluvium begegnet man vielfach lebenden Typen, wie Dryas octopetala in den Dryas-Thonen von Lübeck und Mecklenburg, Schweden, und einer nahen Verwandten in Spitzbergen; Rubus-Arten sind in ähnlichen Ablagerungen bekannt. Fragaria scheint schon im Miozän existiert zu haben. Eine mit Quillaja (Brasilien, Peru, Chile) verwandte Blüte, †Mengea palaeogena ist aus dem Bernstein bekannt geworden; auch die Gattung Rosa ist nach Blattresten mehrfach — ob mit Recht? — im Tertiär angeführt worden. Zahlreicher sind die Angaben über fossile Pomaceen. Von diesen sollen im Tertiär Cydonia, Crataegus, Pirus, Cotoneaster, Sorbus, Amelanchier und andere existiert haben, neben Prunus, Amygdalus usw. Bei den letztgenannten gewähren die charakteristischen Steinkerne eine bessere Unterlage als die Blätter; nach diesen darf an der Existenz der Gruppen im Tertiär nicht gezweifelt werden.

Bei den Leguminosen liegen fossile Blätter und die unverkennbaren Hülsenfrüchte vor. Von Caesalpiniaceen ist Cercis im europäischen Tertiär nachgewiesen und zwar in ähnlichen Gebieten, wie sie heute Cercis siliquastrum einnimmt, die selbst auch im Quartär fossil vorkommt. Die einzelnen Gattungen lassen sich leider auch nach den Hülsen, da man den Zusammenhang mit bestimmten Blättern nicht kennt, oft nur schlecht bestimmen; ob daher die als Glycyrrhiza, †Dolichites, Sophora, Copaifera, Ceratonia, Robinia, Colutea usw. angegebenen Reste immer zu den betreffenden Gattungen gehören, ist eine andere Frage. Außer den genannten werden noch eine ganze Reihe anderer Gattungen aus den verschiedensten Gruppen fossil aufgeführt, unter denen einige besonders markante Erscheinungen hervorgehoben seien. Dalbergia †primaeva aus dem älteren Tertiär gilt als eine der besser fundierten Typen; von den Caesalpiniaceen finden wir oft die als †Podogonium Knorri (und andere Arten?) von Heer aus dem Obermiozän von Oeningen beschriebenen Reste erwähnt und einer nicht mehr existierenden Gattung zugerechnet. Es sind gefiederte Blätter und einsamige Hülsen; die gleichen oder ähnliche Arten kommen auch an anderen Tertiärfundpunkten vor. Ob wirklich eine Caesalpiniacee vorliegt, ist nach Schenk ungewiß. Gleditschia darf man dagegen als tertiäre Pflanze wohl mit Gewißheit hinnehmen. Die Gattung dürfte ebenfalls bei uns das Opfer des Quartärklimas geworden sein. Mit Caesalpinia und Cassia ist die Sachlage schlimmer, nicht viel besser mit Acacia und Mimosa.

Von den unter der Sammelreihe Hysterophyta vereinigten Schmarotzerpflanzen haben wir in den Resten im Bernstein wieder bestimmte Handhaben, wo sich Blüten gefunden haben. Sonst findet man Aristolochia-Blätter öfter angegeben, sogar schon im Potomac. Hier sei besonders †Thesianthemum inclusum Conwentz erwähnt, einer Thesium-Blüte ähnlich. Angaben über fossile Loranthaceen sind auch vorhanden (†Patzea im Bernstein), ferner †Viscophyllum Morloti Knoll (bei Unger als Potamogeton (!)) aus dem Tertiär von Steiermark.

Weit weniger zahlreich als die eben behandelten Choripetalen sind die fossilen Sympetalen erhalten. Es liegt dies wohl an verschiedenen Gründen. Eine große Zahl dieser Gewächse sind Kräuter und schon deshalb wenig zur fossilen Erhaltung geeignet; weiter aber stellt diese als die höherentwickelt angesehene Gruppe einen entschieden jüngeren Zweig der Dicotylen dar, und dies erklärt einmal ihr, wie es scheint, noch völliges Fehlen in der Kreide, andererseits ihre geringere Anzahl im Tertiär (s. S. 445 und 446).

Aus der Reihe der Ericales liegen fossile Reste sicher vor, lebende Arten wieder aus diluvialen Bildungen, wie Vaccinium oxycoccos und uliginosum, ferner Vaccanium macrocarpum in Holland, eine heute nordamerikanische Art. Sonst sind wieder Bernsteineinschlüsse die wichtigsten. Es

Digitized by Google

sind einige zu Andromeda gehörige Arten, von denen Andromeda †Göpperti besonders gut erhalten ist. Auch sonst sind aber als Blütenstände und Blätter (beide gelegentlich in Zusammenhang) Andromeda-Arten als Abdrücke beobachtet (Andromeda †narbonnensis von Armissan, Südfrankreich). Unter den weiteren Typen interessiert neben einigen Erica-ähnlichen Blättern noch Rhododendron, von dem im Interglazial von Höttingen bei Innsbruck Wettstein das Rhododendron ponticum nachgewiesen hat (S. 459).

Von den mit den vorigen verwandten Clethraceen besitzen wir durch Clethra † Berendti Casp., eine Blüte aus dem Bernstein, bestimmte Nachricht über ihr tertiäres Vorkommen. Die sonst angegebenen Clethraceen können wir als wenig verläßlich übergehen.

Aus der Reihe der Primulales findet man zahlreiche Myrsinaceen im Tertiär angeführt, eine in den Tropen Afrikas und Asiens vorkommenden Familie. Lassen wir die ziemlich zahlreichen Myrsine- und Ardisia-Blätter bei Seite, so bieten Sicherheit die im Bernstein aufgefundenen Blütenreste, die sicher zu der Familie gehören, wie †Berendtia primuloides und †Myrsinopsis succinea; es mögen deshalb wohl auch ein Teil der als Myrsinaceen bestimmten Blätter richtig untergebracht sein.

In der Reihe der Diospyrinen treffen wir ausnahmslos subtropische oder tropische Holzgewächse, und die Zahl der fossilen, dazu gezogenen Funde ist beträchtlich. Die Familie der Sapotaceen wird öfters im europäischen Tertiär angegeben (†Sapotacites, Sideroxylon und andere mehr).

Noch häufiger findet man Angaben über das fossile Vorkommen von Ebenaceen, von denen namentlich Diospyros in den Tertiärfloren bei verschiedenen Autoren eine Rolle spielt. Es sind auch Früchte und Blütenreste (Kelche) bekannt, nach denen die Familie wohl bei uns im Tertiär existiert haben wird, wie das bei der heutigen Verbreitung auch durchaus wahrscheinlich ist.

Styracaceen werden ebenfalls als bei uns im Tertiär beheimatet angesehen. Besonders wichtig sind hier die zu Symplocos gehörigen Blüten (Symplocos †subspicata Friedrich) aus dem Oligozän von Halle.

Bei der Reihe der Contortae sind von allen dazugehörigen Familien fossile Reste angegeben worden, von den Oleaceen, Gentianaceen, Loganiaceen, Apocynaceen und Asclepiadaceen. Von Oleaceen haben wir zahlreiche Angaben über das Vorkommen von Fraxinus im unteren Tertiär, deren Richtigkeit die bekannten Flügelfrüchte außer Frage stellen. Auch von Olea kann man wohl dasselbe sagen; eine nahe mit Olea europaea verwandte Art kommt im Pliozän des Cantal vor. Von Gentianaceen sind die Samen von Menyanthes trifoliata im Diluvium in den Torfen eine gewöhnliche Erscheinung; die Gattung soll schon im Tertiär vorkommen.

Von den fossilen Apocynaceen sind besonders die Oleander-Reste bemerkenswert, die überhaupt zu den ältesten Sympetalen gehören dürften. Ob die Gattung schon in der obersten Kreide vorhanden war, sei dahingestellt („Nerium" †Röhli Saporta von Haldem in Westfalen), die eozänen Arten dürften aber wenig Zweifeln begegnen. Die Nordgrenze, die nach den fossilen Resten über England, Böhmen, Steiermark lief, ist jetzt südwärts der Alpen gerückt worden.

Die Tubifloren sind fossil ebenfalls wenig reichlich vertreten und dies aus den vorn genannten Gründen. Hier ist besonders die Gattung Porana der Convolvulaceen zu erwähnen, von der Heer Reste aus dem oberen Miozän von Oeningen beschrieben hat und von denen wenigstens der größere Teil als sicher anerkannt wird. Die Gattung ist heute von Ostindien, Malesien nach Australien verbreitet, bildet also ein entschieden tropisches Element der Oeningener Flora. Auch aus Nord-Amerika werden Porana-Spuren angegeben. Aus den Familien der Borraginaceen, Verbenaceen und Labiaten ist kaum etwas Rechtes erhalten, dagegen ist von den schön blühenden Bignoniaceen, meist subtropisch-tropischen Lianen, im Tertiär Nordamerikas eine Catalpa-Art erhalten worden, und dieser Gattung scheinen auch wohl zweifellos die von Saporta aus dem Oligozän von Aix (Südfrankreich) beschriebenen Reste (Blüten, Frucht, Samen) anzugehören. In quartären Schichten finden sich gelegentlich Früchte und Samen von Sumpfpflanzen der hierhergehörigen Gruppen, wie Stachys palustris, Lycopus europaeus und andere.

Von den Rubiales wissen wir auch nicht mehr als von den Tubifloren. Hier werden aus dem Tertiär Galium-ähnliche Blätter und auch Früchte angegeben, die sehr an lebende Arten erinnern. Auch aus den anderen Gruppen der Rubiaceen werden Reste angegeben, von denen namentlich die zu Gardenia gestellten Früchte interessieren (Gardenia †Wetzleri Heer). Zahlreicher sind die den Caprifoliaceen zugewiesenen Reste. Hier sind zunächst die im Bernstein gefundenen Sambucus-Blüten zu nennen, unverkennbar der Gattung angehörig. Zu Viburnum sind eine Menge fossiler Blätter gerechnet worden, auch einige Früchte; die Gattung wäre darnach bis Grönland, Spitzbergen, Grinnelland hin-

Digitized by Google

aufgegangen. Die lebende Mediterranart Viburnum Tinus ist schon aus dem Quartär bekannt; die größte Zahl der fossilen Arten sind in Nordamerika gefunden worden, weniger in Europa. Die Angabe über Viburnum in der Kreide von Westfalen ist kaum berechtigt.

Weit dürftiger und unzuverlässiger sind die Nachrichten von den fossilen Campanulaten, insbesondere also den heute so zahlreichen Compositen. Neben einigen Blattfetzen sind hier von größerer Bedeutung die meist unter dem Namen †Cypselites beschriebenen Pappus-tragenden Früchtchen, die wenigstens zum Teil wohl der Familie angehören werden. Im Quartär finden sich mehrfach sichere Zeugen davon, so Tussilago farfara im Interglazial von Schweden und Italien, Bellis perennis, Bidens, Carduus und andere.

Ein besonderes Kapitel der Paläobotanik bildet das Studium der echt versteinert (intuskrustiert) erhaltenen Reste, besonders der fossilen Hölzer, die in älteren Schichten als Gymnospermenhölzer, seit der Kreide auch als Dicotyle und Monocotyle (Palmen) vorkommen. Ihr Studium, das eingehende Kenntnis der Anatomie der betreffenden Gruppen verlangt, ist sehr schwierig, aber lohnender als viele Blattbestimmungen. Ein näheres Eingehen auf dieses Kapitel ist hier nicht möglich.

4e) Allgemeines. Wir hatten schon in der Einleitung auf einige Fundamentaltatsachen hingewiesen, die die Paläobotanik für die Geschichte der Pflanzenwelt bietet. Die Vorgeschichte der Pflanzenwelt bildet ohne Zweifel eine sehr wichtige Stütze der Richtigkeit der Annahmen der Abstammungslehre für das Pflanzenreich. Wenn wir von dem eigenartigen Verhalten der Muscineen (Moose) absehen (S. 413), so liefert sie den Beweis, daß die großen Gruppen des Pflanzenreichs in der Reihenfolge auftraten, wie sie das natürliche System aufführt: das Einfachere jeweils vor dem nächst Komplizierteren. Die ältesten Pflanzen sind uns zwar nur sehr mangelhaft bekannt, sind aber zweifellos Algen, die schon im Untersilur auftauchen (Dasycladaceen); von den Pteridophyten des Silurs sei hier wegen des mehr als zweifelhaften Alters abgesehen. Erst im Mittel- und Oberdevon zeigen sich höhere Pflanzen, zu den Farnen und Lepidophyten gehörig. Diese Gruppen beherrschen die paläozoische Flora bis zum Rotliegenden. Als die ältesten Gymnospermen können die eigenartigen †Cordaiten gelten, vom Kulm ab bekannt, im Carbon sehr häufig, zu denen erst im Rotliegenden einige andere Typen (Walchia) hinzutreten. Die Verschiedenheit der Grenzen der großen Epochen auf Grund der Tierwelt und Pflanzenwelt hatten wir schon vorn (S. 409) näher beleuchtet und brauchen darauf nicht mehr näher einzugehen (s. auch die Tab. S. 460).

Die Gymnospermenära dauert vom Zechstein bis zur unteren Kreide (Weald und Neocom), an manchen Punkten der Erde anscheinend noch in den Gault hinein. Ueber den Beginn der Angiospermenära hatten wir uns im 4. Abschnitt näher unterrichtet. Wir hatten weiter gesehen, daß die beiden großen Gruppen der Dicotylen, die Sympetalen und Choripetalen, allem Anschein nach ebenfalls in der vom System geforderten Reihenfolge erscheinen, nämlich die Choripetalen zuerst. Im Oligozän und Miozän tauchen in merkbarer Anzahl noch lebende Arten auf, wie Taxodium distichum, Sequoia-Arten und andere Coniferen; möglicherweise ist die in der oberen Kreide von Mähren vorkommende Matonia †Wiesneri Krasser mit der lebenden Matonia pectinata des Sunda-Archipels identisch, und diese dürfte dann neben Ginkgo biloba die älteste lebende Pflanze sein. Von diesem berühmte Baum des Ostens kennt man schon im Eozän Blätter (Ginkgo †adiantoides), die sich von denen des lebenden nicht unterscheiden lassen, also derselben Art angehört haben können. Im Miozän von Senftenberg kommt nach Menzel eine Corylus-Art vor, die sich von unserer Corylus avellana ebenfalls nicht unterscheiden läßt.

Eine mit der fossilen Pflanzenwelt überaus eng zusammenhängende Frage ist die nach den Vegetationsbedingungen der fossilen Floren und demgemäß nach dem Klima der vergangenen Epochen; die Pflanzen als Festlandsbewohner sind den klimatischen Einflüssen unmittelbar und in erster Linie ausgesetzt, und es bildet daher die fossile Klimatologie ein wichtiges Nebenstudium der Paläobotanik. Außerdem werden wir das Wichtigste aus der Pflanzengeographie der Vorzeit zu betrachten haben, die zum Teil wiederum mit der Paläoklimatologie eng zusammenhängt.

Die Zahl der vorkarbonischen Reste ist so gering, daß man auf Grund der Landpflanzenreste — als solche sind ja eigentlich nur oberdevonische da — sich kein Urteil über derartige Fragen erlauben kann. Etwas besser ist es schon mit der kulmischen Flora. Gegen das produktive Karbon sticht die Kulmformation sowohl durch die Art der Pflanzenreste wie durch den außerordentlichen Mangel an Kohlenbildungen ab, die ja ein Hauptcharakteristikum dieser Periode bilden. Dennoch dürfte sich das Klima dieser Periode wenigstens für die pflanzentragenden Festlandsteile nicht wesentlich von dem des tiefsten produktiven Carbons und diesem überhaupt unterschieden haben. Dies zeigt sich einmal dadurch, daß verschiedene schon im Kulm auftretende Pflanzen auch noch im tiefsten produktiven Carbon zu finden sind;[1]) der Mangel an Kohlenflözen im Kulm dürfte an den unruhigen Verhältnissen der Sedimentation (viele Konglomerate, Grau-

[1]) Hier sei darauf hingewiesen, daß überhaupt der Fall häufig wiederkehrt, daß die floristischen Verhältnisse der überlagernden Schichten sich aus den unmittelbar unterlagernden ahnen lassen, indem die in der nächsten Periode herrschenden Typen oder Verwandte dieser in geringerer Anzahl schon in dem tieferen Horizont auftreten, also gewissermaßen einen Vorgeschmack von dem Folgenden geben. Im Rotliegenden bemerken wir z. B. durch das Zunehmen und Neuauftreten von Gymnospermen, der †Walchien, der ersten †Pterophyllen und †Baiera-Arten, was wir vom Mesozoikum zu erwarten haben.

Digitized by Google

wacken, Sandsteine) und dem Fehlen der Senkungsgebiete, die die großen Carbonbecken offenbar darstellten, liegen. In der Tat sind die Kulmpflanzenreste fast ausschließlich zusammengeschwemmtes Material, das oft mit marinen Tieren zusammen vorkommt. In pflanzengeographischer Beziehung gilt die Kulmflora als eine Flora von großer Gleichmäßigkeit, ob mit Recht, sei dahingestellt. Verwandt sind die an verschiedenen Punkten der Erde gefundenen Reste ja zwar. Doch sei darauf hingewiesen, daß im englischen Kulm die bei uns so häufige †Cardiopteris polymorpha und frondosa kaum oder nur höchst selten auftritt, während die Charakterart des dortigen Kulm (Schottland), †Calymmotheca affinis, bei uns ganz unbekannt ist. Die bisher mit dem Namen †Bergeria abgetanen eigentümlichen „†Lepidodendron nothum" des australischen Kulm, die auch im argentinischen wiederkehren (also ebenfalls in einem Glossopteris-Gebiet), sind uns jedenfalls ebenso fremd als manche anderen Arten dieses Kulm.

Eine der meistumstrittenen Fragen bilden die Vegetations- und Klimaverhältnisse unserer Steinkohlenflora, mit der nun wiederum die Frage der Entstehung der Steinkohlenflöze auf das Engste zusammenhängt. Auf diese letztere soll hier indeß nicht weiter eingegangen werden, da sie in dem Artikel „Kohlen" eingehend behandelt wird. Es ist keine Frage, daß die Vegetationsbedingungen der Steinkohlenflora überaus günstige gewesen sein müssen. Dies geht schon aus der Massenproduktion an Pflanzenmaterial hervor, das in den Steinkohlenflözen aufgehäuft ist. In Oberschlesien erreichen in den ergiebigsten Horizonten die Flöze 12 m Mächtigkeit; die Masse der Kohlen im Carbon bietet ein beredtes Zeugnis der Ueppigkeit der Flora.

Betrachten wir nun zunächst, was uns die Flora selbst über ihre vermutlichen Wachstumsbedingungen lehrt. An erster Stelle sei hier die Tatsache erwähnt, daß sämtliche — und sie gehören den verschiedensten Gewächsgruppen an, wie Calamiten, Lepidophyten, Gymnospermen — mit sekundärem Dickenwachstum versehene Holzgewächse des Paläozoikums keine Spur einer Zuwachszonenbildung („Jahresringe") aufweisen. Es kann dies nur dadurch seine Erklärung finden, daß die Temperatur den Bäumen ein dauernd gleichmäßiges Wachstum ermöglichte, daß also weder fühlbare Kälte- noch Trockenheitsperioden auf die Flora Einfluß hatten (vgl. hierzu und zum folgenden S. 462 ff.). Weiterhin fallen die vielen mit oft zarten Wedeln versehenen Farnbäume auf, im Wachstum den heutigen nur z. T. ähnlich; heutzutage haben wir diese nur in wärmeren Klimaten, in denen zugleich eine ständige ausgiebige Luftfeuchtigkeit vorhanden ist. Unter den Farnen sind auffällig die zahlreichen Marattiaceen. Diese Familie ist heute in den Subtropen und Tropen zu Hause, und man wird für diese Vorfahren wohl ähnliche Vegetationsbedingungen annehmen können. Auffällig sind auch die vielen als Schlingfarne gedeuteten Gattungen und Arten; wenn diese Annahme Potoniés richtig ist, so hätten wir auch rein pflanzenphysiognomisch eine Beziehung zu den Eigentümlichkeiten des tropischen und subtropischen Regenwaldes mit seinen zahlreichen Lianen. Eine bemerkenswerte Erscheinung bildet ferner die ebenfalls auf die genannten Regenwälder hinweisende Stammbürtigkeit der Blüten bei †Sigillarien und bei anderen Lepidophyten; diese Cauliflorie ist jedenfalls den Gewächsen der gemäßigten Zonen fremd. Man kann wohl noch andere Daten dieser Art dafür namhaft machen, daß die Carbongewächse viel Analoges mit solchen der Tropen und Subtropen aufweisen, wir lassen uns an dem Gesagten genügen.

Besonders zu betonen ist, daß die gesamte uns aufbewahrte Carbonflora nur eine Flachlandsflora war, dieselbe, die die Kohlen der z. T. weitausgedehnten Steinkohlenbecken zusammengesetzt hat, was wir aus vielen Anzeichen wissen.

Die Steinkohlenflöze sind nach allem, was sich bis jetzt in dieser Frage hat herausbringen lassen, als fossile, zum größten Teil autochthone (an Ort und Stelle entstandene) Waldmoore aufzufassen. Im Liegenden finden sich oft noch in natürlicher Lage (in situ) in zahlloser Menge die wie bei Moorpflanzen horizontal gestreckten Wurzelstöcke der tonangebenden Carbongewächse, der †Lepidophyten, die bekannten †Stigmarien, (Fig. 28) und über ihnen lagert, genau wie über einem subfossilen Wurzelboden der Torf, so im Carbon die Kohle. Diese Moore lagen zum Teil zweifellos in der Nähe des Meeres, ja scheinen zum Teil als Strandmoore angesprochen werden zu können. Demgemäß wird das Klima dieser Moore ein feuchtes gewesen sein. Diese paralischen Becken zeichnen sich durch die Führung von marinen Zwischenschichten aus, die mit Süßwasserschichten und Kohlenflözen wechsellagern. Sie zeigen, daß es dem Meere möglich war, gelegentlich bei Landsenkungen — und die Carbonbecken sind als Senkungsgebiete aufzufassen — die ehemaligen Moore zu überfluten und mit Sedimenten zu bedecken. Weiter ist zu bedenken, daß im Laufe des produktiven Carbons sich jene beiden alten Gebirgssysteme aufzurichten begannen, die Süß als das armorikanische und variscische Gebirge bezeichnet hat, die also für die meeresnahe Steinkohlenflora als Regenfänger wirkten. Neben diesen großen paralischen Becken wie Oberschlesien, Ruhr, Belgien, Nordfrankreich, England haben wir noch eine Anzahl von limnischen oder besser Binnenbecken, die weiter im Inneren des Carbonfestlandes lagen und sich als solche durch das vollständige Fehlen von marinen Zwischenschichten zu erkennen gaben; die Flora dieser Becken weist mit der der paralischen so viele gemeinsame Züge auf, daß auch dort die Vegetationsbedingungen für die Carbongewächse durchaus analog gewesen sein müssen.

Alles in allem zeigt sich, daß wir für die Carbonflora ein feuchtes, ozeanisches Klima von großer Gleichmäßigkeit annehmen müssen, das ferner so warm war, daß ein ununterbrochenes reichliches Pflanzenwachstum ermöglicht und garantiert war. Ob man dieses Klima als ein tropisches annehmen soll oder ein etwa subtropisches, diese Frage spielt eine geringere Rolle. Das größte Hindernis für die Annahme eines tropischen Klimas bildete das angebliche Fehlen von Mooren in den Tropen und das gürtelförmige Auftreten der Moore in den gemäßigten Zonen der Erde. Neuerdings sind auch in den Tropen Moore (Waldmoore) nachgewiesen worden; ob sie in größerer Zahl vorkommen, muß die Zukunft lehren.

Digitized by Google

Ueber die Verbreitung dieser Carbonflora herrscht die Anschauung von der Einheitlichkeit der Pflanzenverbreitung in dieser Flora, eine Anschauung, die nach neueren Untersuchungen indes übertrieben ist. Wohlgemerkt ist hier nur von der Carbonflora des europäisch-nordamerikanischen Typus die Rede; von der bereits früher mehrfach erwähnten Glossopteris-Flora wird nachher die Rede sein. Es läßt sich nicht leugnen, daß damals eine Anzahl von Arten eine staunenswert weite Verbreitung auf der Nordhemisphäre hatten. Wir finden zum Teil in Nordamerika, in England, Frankreich, Deutschland, Spanien und Rußland, ja zum Teil in Ostasien, eine recht ähnliche Carbonflora, auch im südlichen Oran (Nordafrika)[1]) und in Kleinasien finden wir sie unzweideutig entwickelt. Dennoch darf man nicht vergessen, daß das Verhältnis vieler nordamerikanischer Arten zu den europäischen, wie jeder Eingeweihte weiß, alles andere als geklärt ist, daß hier betreffs der Vergleichung der Floren noch das meiste zu tun bleibt. Aber auch in der europäischen Carbonflora werden sich bei eingehenderer Untersuchung der Floren der einzelnen Carbonbecken immer mehr Anzeichen von Lokalfärbungen und Besonderheiten einzelner Gebiete herausstellen. So gibt es eine Anzahl von Arten, die nur oder fast nur im Saarbecken, oder nur im Zwickauer Becken, oder nur in den böhmischen Becken, oder nur in Oberschlesien, oder nur in England vorkommen, die dort häufig und charakteristisch sind, aber anderswo, wenn nicht ganz fehlen, so doch zu den größten Ausnahmeerscheinungen gehören. Diese Untersuchungen, die Verfasser seit Jahren betreibt, stecken zwar noch in den Anfängen, haben aber schon so viel Interessantes ergeben, daß nach Veröffentlichung der Resultate die Anschauungen über die Einheitlichkeit der Carbonflora etwas modifiziert werden müssen; Andeutungen davon haben schon Zeiller und Potonié geliefert. Man darf daher die Konformität der Carbonflora nicht überschätzen; auch im Tertiär hatten viele zum Teil noch lebende Arten eine fast universelle Verbreitung auf der Nordhemisphäre (durch ihren zirkumpolaren Ursprung); dies kommt also keineswegs bloß der Carbonflora zu.

Einer gesonderten Betrachtung bedarf die in südlichen Gegenden sich seit dem (?oberen) produktiven Carbon bemerkbar machende abweichende Entwicklung der Flora in Gestalt der Glossopteris-Flora, nach der man diese ganze Ausbildung auch Glossopteris-Flora nennt. Es sind dies zugleich die Gebiete, die sich zum Teil durch eine Vereisung zur Permzeit auszeichnen, nämlich in erster Linie Ost-Indien, Australien, Südafrika, Ostafrika, Südamerika und neuerdings (51° südlicher Breite!) nach Halle die Falklands-Inseln. Außerdem finden sich Anzeichen der Glossopteris-Flora in Borneo, im östlichen Asien (auch Mittel-Asien), in Sibirien (bis 51° nördlicher Breite) und in Nord-Rußland an der Dwina (Weißes Meer) und an der Petschora. Die reine Entwicklung dieser Flora findet man aber nur im Süden in den genannten Gebieten der Südhemisphäre und in Ostindien. Diese Flora, im allgemeinen seit dem oberen Produktiven Carbon und Perm auftretend, unterscheidet sich scharf durch das zahlreiche Vorhandensein einer Anzahl von unserer Perm- und Carbonflora durchaus fremden Typen. Da sind zunächst die verschiedenen Arten der †Glossopteriden (S. 420), zu denen die †Gangamopteris-Arten und †Glossopteris-Arten gehören. Sie kommen in einer Anzahl von Arten in jenen Gebieten vor und sind für diese Flora so charakteristisch, daß sie ihr den Namen gegeben haben. Neben ihnen kommen eine Anzahl unserer paläozoischen und der anschließenden mesozoischen Flora ebenfalls fremde Gruppen vor, wie die Phyllotheca-Arten (Equisetales), die Cordaiten-ähnlichen †Noeggerathiopsis-Arten, die †Rhipidopsis-Arten (S. 438) und namentlich in Indien verschiedene Spezialtypen, von denen †Ottocaria (jetzt auch in Süd-Amerika), †Belemnopteris und †Palaeovittaria (auch in Ostasien) genannt seien. Auch die anschließende mesozoische z. B. rhätische Flora enthält Sondertypen wie die bisher zu Unrecht mit †Thinnfeldia vereinigten †Dicroidium-Arten mit einfach gabeligen Wedeln, eine †Stenopteris-Art und andere mehr. Daneben kommen noch mancherlei Coniferen (zum Teil zu †Voltzia gestellt), †Schizoneura usw. in Frage. Die älteste Glossopteris-Flora ist durch †Gangamopteris charakterisiert, die weit früher (im Perm) erlischt als †Glossopteris, die um diese Zeit erst auftritt und bis in die Trias persistiert, ja stellenweise wie in Ostasien (Tonkin) nach Zeiller mit †Noeggerathiopsis bis zum Rhät. Die Verwandtschaft der Triasflora mit der Permflora in diesen Gebieten ist demgemäß eine viel größere als bei uns; man spricht daher oft geradezu von Permotriasflora.

Man könnte meinen, daß wegen des lokalen Zusammenhangs dieser Flora mit den permischen Vereisungsgebieten — in Südafrika haben wir sogar bei Vereeniging die Grundmoräne des dortigen Permgebietes (Dwyka-Konglomerat) als Vegetationsboden für die Glossopteris-Flora — diese von dem abkühlenden Glazialklima beeinflußt gewesen wäre; dies ist indes im allgemeinen ganz entschieden nicht der Fall gewesen. Ganz abgesehen davon, daß die großblätterigen Glossopteriden von Anfang an ganz und gar nicht den Eindruck von Glazialpflanzen machen, ist das gelegentliche Zusammenvorkommen von Typen der nördlichen Carbonflora mit Glossopteris-Flora in Südafrika und Brasilien ein beredtes Zeichen dafür, daß die Vegetationsbedingungen dieser Flora im ganzen ähnliche gewesen sein müssen wie die unserer Carbonflora. Am eklatantesten zeigt sich dies in den Vorkommnissen in Nordrußland, wo neben †Callipteris und anderen Permtypen europäischen Charakters †Glossopteris, †Gangamopteris, †Noeggerathiopsis und an der Petschora †Rhipidopsis vorkamen. Dieses bisher einzig dastehende Vorkommen scheint neuerdings dadurch verständlicher zu werden, daß im nördlichen und mittleren Sibirien (Kuznesk und untere Tunguska, ? auch Ural) neben Phyllotheca-Arten vom Glossopteris-Typ auch †Noeggerathiopsis vorkommt, zum Teil auch mit Typen unserer Permflora.

Ein pflanzengeographisches Rätsel bildet bis-

[1]) Ueber die Flora des Tete-Beckens am Zambesi von angeblich rein europäischem Typus nachher bei der Glossopteris-Flora.

Digitized by Google

her die von Zeiller aus dem Tete-Becken am Zambesi angegebene Flora, die ausschließlich aus solchen europäischen Permocarbontypen besteht, die sonst in der Glossopteris-Flora jener Gebiete und in dieser Flora überhaupt gänzlich unbekannt sind. Verfasser muß gestehen, daß nach einer neueren Korrespondenz mit Zeiller ihm die Herkunft dieser Reste aus jenem Becken mehr wie zweifelhaft erscheint; es wird sich wohl einmal die Flora als versehentliche Fundortverwechselung aufklären. Sie sei daher hier nicht weiter berücksichtigt.

Höchst interessant ist, daß neuerdings an zwei Stellen, in Australien und auf den Falklands-Inseln in den Schichten der älteren Glossopteris-Flora Holzreste mit zweifellos periodischen Jahresringen gefunden worden sind. Im allgemeinen zeigen diese wie bei uns im Paläozoikum und älteren Mesozoikum auch in den Glossopteris-Gebieten keine Zuwachszonen und dies spricht ebenfalls für ähnliche Wachstumsbedingungen beider Florentypen. Die einzigen Gegenden, wo man Grund hätte, die Existenz von Zuwachszonen im Permocarbon zu erwarten, bleiben aber die Glossopteris-Gebiete wegen der vorausgehenden Vereisung. Denn deren letzte Ausklänge könnten wohl in Gestalt eines fühlbar periodisierten Klimas auf die ältere Glossopteris-Flora noch einen gewissen Einfluß ausgeübt haben. Und daß dies in der Tat der Fall gewesen ist, wenn auch eine eigentliche Schädigung der Flora damit nicht mehr verbunden gewesen sein dürfte, beweisen jene Funde von Hölzern mit Zuwachszonen.

Auch gegen Ende der Trias lassen sich noch manche Unterschiede in der Verteilung gewisser besonders hervorstechender Pflanzentypen konstatieren; unter diesen sei nur das Fehlen der jetzt zu den Matoniaceen gestellten Typen, wie †Dictyophyllum, †Clathropteris, †Thaumatopteris, die in der europäischen Rhät-Juraflora so charakteristisch sind, in Indien und überhaupt den Rhätfloren der Glossopteris-Gebiete erwähnt, sowie das vielleicht noch auffallendere Fehlen der Ginkgophyten vom Baiera- und Ginkgo-Typus, ebenfalls in Indien, die aber an anderen Stellen des Glossopteris-Rhät, wie in Australien, Argentinien und Südafrika sehr wohl vorhanden waren. Dieser Rhätflora der Glossopteris-Gebiete waren aber wiederum andere Typen eigentümlich, wie †Dicroidium („Thinnfeldia") odontopteroides. Später im mittleren Jura war dann die Ausbildung von pflanzengeographischen Provinzen in viel weniger fühlbarer Weise vorhanden als vordem. In dieser Periode haben wir vielleicht überhaupt die relativ gleichmäßigste Pflanzenverteilung auf der Erde gehabt, die bekannt geworden ist. Ein beredtes Zeugnis dafür ist der Vergleich der Floren der mittleren und arktischen Breiten und besonders der neuentdeckten antarktischen Flora von Louis Phillippsland (65° südlicher Breite) und andere mehr. Von der letzteren sagte Nathorst, daß sie im großen und ganzen ebensogut an der Yorkshire-Küste (altberühmten Fundpunkten dieser Flora) gesammelt sein könnte.

Eine äußerst wichtige Frage bildet die Stellung der fossilen Floren zur Theorie Neumayrs über den Beginn der Ausbildung von Klimazonen, der nach ihm seit der Juraformation fühlbar gewesen sein soll. Die Zusammensetzung der in ziemlicher Anzahl von den verschiedensten Fundpunkten der Erde bekannten Lias- und Braunjurafloren lassen hierfür keine greifbaren Anhalte gewinnen. Es können jedenfalls diese Differenzierungen klimatischer Natur noch nicht so arg gewesen sein, daß eine Abwanderung und Verdrängung gewisser wärmebedürftigerer Pflanzen oder Pflanzengruppen fühlbar hervorgerufen wurde. Daß indessen trotzdem derartige Vorgänge Platz gegriffen haben müssen, zeigt uns ein schon früher berührtes, empfindlicheres Reagens: die beginnende Zuwachszonenbildung in höheren Breiten bei den Coniferenhölzern. Während in unseren Breiten Zuwachszonen im Keuper noch nicht oder höchstens ganz unregelmäßig auftreten, läßt sich schon im Lias ein unzweideutiges Zunehmen dieser Erscheinung nicht verkennen, die an den Hölzern des mittleren Jura bereits zu einem Charakteristikum geworden ist. Vergleichen wir dagegen Holzreste aus ähnlichen Schichten der Tropen, z. B. von Mombassa (Ostafrika), so ist hier keine Spur davon wahrzunehmen, und auch in der Kreide finden wir bei beiden Gebieten dasselbe Verhältnis. Höchst wertvoll für diese Frage sind die in den letzten Jahren aus der untersten Kreide des hohen Nordens bekannt gemachten Holzreste. Diese zeigen bedeutend schärfer abgesetzte Jahresringe als gleichzeitiges Material unserer Breiten, etwa in dem Grade wie unsere Tertiärhölzer, und sprechen in eindeutiger Weise dafür, daß das Klima dort oben in weit fühlbarerer Weise periodisiert war als bei uns; daß es sich nicht um Wechsel von Trockenheit und Feuchte, sondern von Kühle und Wärme gehandelt hat, geht daraus hervor, daß es sich um Coniferenhölzer handelt, d. h. solche mit persistierenden Blättern (vgl. Näheres in Gothan, Jahrb. Kgl. Preuß. Geol. Landesamt, XXIX, II, H. 2, S. 220ff., 1908). Der Gedanke, daß der Wechsel von Polarnacht und Polartag da einen nennenswerten Einfluß geübt haben könne, ist ebenfalls von der Hand zu weisen, da Trias- und Carbonhölzer derselben Breiten keine solchen oder nicht mehr Anzeichen davon zeigen als gleichalterige unserer Breiten, da ferner die arktische, üppige Tertiärflora und die mittleren Jurafloren keinen irgendwie schädigenden Einfluß dieser Faktoren merken lassen. Eine Kulmflora vom Spitzbergener Typus ist sogar neuerdings in 81° nördlicher Breite in Grönland entdeckt worden.

Aber jene Flora der unteren Kreide des hohen Nordens hat noch andere Anzeichen offenbar schon vordem begonnener Differenzierungen geliefert. Wie Nathorst zuerst betonte, zeigt die etwa gleichalterige, in Abdrücken konservierte Flora von Spitzbergen, zu der später noch die von Franz-Josefs-Land und der Insel Kotelny der Neu-Sibirischen Inseln hinzukam, eine auffällige Dürftigkeit selbst gegen die Flora des mittleren Jura derselben Breiten, und besonders auffallend gegen die südlicherer Breiten, selbst gegen die grönländische aus 70° nördlicher Breite. Cycadophyten, Ginkgophyten fehlen fast ganz (!). Farnreste sind überaus dürftig und klein; Coniferenreste überwiegen. Unter diesen zeigen sich nun auffallenderweise viele Abietineen, und dies letztere trat besonders durch die Untersuchung der Holzreste hervor, die zahlreiche

Digitized by Google

unbekannte und primitive Typen zutage förderten, auf die schon S. 435 hingewiesen war. In unseren Breiten ist es mit Abietineen in der unteren Kreide noch sehr dürftig bestellt.

Alles in allem läßt sich die Ausbildung einer borealen pflanzengeographischen Provinz, deren Vorwehen offenbar in die obere Jurazeit hineingereicht haben werden, in dieser Epoche in keiner Weise verkennen.

Mit der Kreideformation, besonders der oberen Kreide sehen wir weitere beträchtliche Veränderungen in der Pflanzendecke und ihrer Verteilung eintreten. Ganz abgesehen davon, daß um diese Zeit das erste Auftreten der Angiospermen fällt, machte auch die klimatische Differenzierung deutlich weitere Fortschritte. Das Klima muß zwar sowohl in der oberen Kreide wie im Alttertiär (Eozän) bei uns noch recht warm gewesen sein, wofür besonders die vielen Palmen im letzteren sprechen. Die Vegetationsbedingungen der Eozänflora dürften jedenfalls noch der oberen Kreideflora recht ähnliche gewesen sein, denn wir sehen verschiedene schon in der oberen Kreide vorhandene Typen in das Eozän übergehen, besonders die den Quercineen zu nähernden †Dryophyllen und die †Dewalqueen, während die †Crednerien verschwunden sind. Abietineen hatten zur oberen Kreidezeit schon unsere Breiten erreicht, und im südlichen Schweden war eine Pinus der Sectio Pinaster anscheinend herrschender Waldbaum (Pinus †Nathorsti Conw.). Die Mediterrangebiete scheinen diese Coniferen aber erst im Tertiär erobert zu haben, wo auch Taxodium und Sequoia z. B. mit einer mesothermen Flora bis ins südlichste Ungarn vorkamen (Petroszeny).

Ein deutlicher Schnitt für die Entwicklung der Pflanzenwelt — wenigstens bei uns — fällt wieder zwischen Eozän und Oligozän. Die Dewalqueen und Dryophyllen sind verschwunden, aber den Palmen war die Existenz noch weiter in unseren Breiten möglich, wo Typen von Sabal-, Chamaerops- und Phoenix-Charakter bis zum Samland (hier im Bernstein) vorkamen. Daß gleichwohl eine Veränderung der Wachstumsbedingungen vielorts eingetreten war, bezeugt die nunmehr mit Macht einsetzende Braunkohlenbildung, die dieser Periode, dem Oligozän, und der folgenden, dem Miozän, den Namen Braunkohlenzeit eingetragen haben; im Pliozän flaut die Braunkohlenbildung wieder ab.

Auch für die Oligozänzeit nimmt man (manche sogar noch für das Miozän) noch vielfach ein tropisches bis subtropisches Klima an, besonders wegen der Palmen, Porana, Cinnamomum und anderer Elemente; indes ist dies übertrieben. Besonders deutlich sprechen gegen diese Annahme die überaus scharf abgesetzten Jahresringe der Bäume, die fast so deutlich sind wie heute bei uns und zeigen, daß jedenfalls eine zeitweilig gänzliche Wachstumsistierung während der ungünstigen Jahreszeit eintrat. Milde, wohl ohne Zweifel frostfreie Winter waren sicher vorhanden, und so konnten Gewächse wie Palmen und andere thermophile Gewächse weiter aushalten, die ja von früher her in diesen Gegenden zu Hause waren. Dieser letztere Umstand wird oft zu wenig berücksichtigt.

Das Klima der Miozänperiode zeigt eine entschieden weiter fortschreitende Abkühlung, und Palmen haben um diese Zeit in unseren Breiten zwar wohl nicht vollständig gefehlt, jedoch zu den größten Ausnahmeerscheinungen gehört, wie bei Oeningen (Schweiz). Ja manche Floren wie die des Senftenberger Braunkohlengebiets (Niederlausitz) zeigen einen deutlichen Einfluß kühleren Klimas als das, welches z. B. die Ablagerungen nahe dem Rhein vermuten lassen. Dort in der Niederlausitz hat man sogar an einzelnen Gewächsen deutliche Frostspuren wahrnehmen können. Auch im Pliozän zeigen die rheinischen Vorkommnisse durch das Persistieren von Cinnamomum und anderen wärmebedürftigeren Typen einen wärmeren Anstrich als landeinwärts. Sonst mag vielorts das Klima der Pliozänzeit und die sonstigen Vegetationsbedingungen etwa den heutigen entsprochen haben. Die Pliozänzeit bildet den Ausklang der tertiären Pflanzenwelt und zugleich die Ouvertüre der heutigen. Einerseits haben sich noch bis dahin gewisse charakteristische Tertiärtypen erhalten, und im Pliozän war die Anzahl der nordamerikanisch-asiatischen oder jetzt südwärts abgewanderten Typen noch groß, an denen die eigentliche Tertiär-Flora so reich war. Es finden sich noch Glyptostrobus, Taxodium und andere amerikanische und asiatische Coniferenformen, sogar Ginkgo biloba (Pliocän von Frankfurt a. M.), daneben aber Arten wie Pinus montana, Abies alba, Picea, Alnus glutinosa, Betula alba und andere mehr, d. h. ein bedeutend größerer Prozentsatz heute noch lebender Arten tritt auf, wodurch die Pliozänflora in auffälligen Kontrast zur Miocänflora tritt, die deren viel weniger zeigt. Wie die Cinnamomum-Arten im Rheinischen Miocän stellenweise auf ein immerhin noch sehr mildes Klima deuten, so auch anderwärts, wie z. B. bei Meximieux (Süd-Frankreich); wir finden hier, nach Saporta, ein Gemisch von Miozäntypen mit einer Menge heute dort noch lebender Arten; den heute südlicher beheimateten Granatapfel (Punica Granatum); Punica †Planchoni dürfte sich jedenfalls schwerlich von der lebenden Art trennen lassen.

Einen durchaus neuzeitlichen Anstrich trägt die posttertiäre (plistozäne, quartäre) Flora der Eiszeit und der Jetztzeit. Sie ist kurz gesagt die heute lebende Flora. Die Diluvialflora enthält wohl kaum noch eine Art, die der heutigen Flora fremd wäre; die Tertiärelemente sind fast vollständig verschwunden, und nur ganz dürftig treten uns noch jene nordamerikanisch-ostasiatischen Typen entgegen, die die tertiären Floren charakterisieren. Allerdings haben gerade neuere Untersuchungen dargetan, daß noch manches derartige Residuum in den Torflagern sich verbirgt, und wir dürfen da noch manche Ueberraschung gewärtigen.

Bei der Diluvialflora kann man besonders zwei Florentypen unterscheiden: das arktisch-glaziale Element, das unter dem unmittelbaren Einfluß des Glazialklimas stand, und diejenige Flora, die sich während der Rückzugsperioden (Interglazialzeiten) mit der Verbesserung der Vegetationsbedingungen wieder einstellte, beim Wiedervordringen des Eises aber wieder verschwand. Ueber die Zahl dieser Zwischeneiszeiten streiten sich die Gelehrten dauernd herum; meist werden wohl für Norddeutschland drei

Digitized by Google

Vereisungen mit zwei Interglazialen angenommen, während die alpine Vereisung fünf Vorstöße gehabt haben soll. Die Interglaziale müssen von sehr langer Dauer gewesen sein, da sich währenddem große Pflanzenwanderungen vollzogen und beträchtliche Torflager bildeten; die letzteren enthalten die meisten Aufschlüsse über die Flora. Die interglaziale Flora entspricht im ganzen durchaus unserer heutigen, und demgemäß muß im ganzen das Klima ein ähnliches gewesen sein. Man kann in vielen Fällen verfolgen, wie mit dem Rückzug des Eises allmählich eine wärmebedürftigere Flora sich einstellt. Zunächst bemerkt man das arktisch-alpine Florenelement, besonders vertreten durch Dryas octopetala, Gletscher-Salices und die Polarweide (Salix polaris) und die Zwergbirke (Betula nana). An ihre Stelle rückte beim weiteren Rückzug des Eises Waldvegetation, zunächst Betula alba, bald dann die ebenfalls anspruchslose Pinus silvestris. Ihr folgte die Eichen-Zeit (Quercus sessiliflora und pedunculata) und mit ihr zahlreiche andere Waldbäume und -Pflanzen. Erst zuletzt halten die Fichte und dann die Buche ihren Einzug. Diese Reihenfolge konstatiert man sowohl nach dem interglazialen wie nach dem definitiven (letzten) Rückzug des Eises; im Interglazial ist es jedoch nicht bis zur letzten Etappe der Buchenzeit gekommen, die der Jetztzeit vorbehalten blieb.

An gewissen Stellen scheint das Interglazialklima dem heutigen an Milde noch überlegen gewesen zu sein, worauf verschiedene Pflanzenfunde deuten. Am bekanntesten ist der Fund des pontischen Rhododendron (Rhododendron ponticum) im Interglazial von Höttingen bei Innsbruck; die Pflanze ist heute in Kleinasien und Transkaukasien zu Hause. Aehnliche Funde machte Pax in den Karpathen (Cotinus Coggyria), und besonders bemerkenswert ist die Angabe desselben Autors über das Vorkommen von Acer tataricum (heute erst südlich der Leitha wild) im Interglazial von Ingramsdorf bei Breslau. Man muß aber keine übertriebenen Vorstellungen an diese Funde knüpfen, da diese Pflanzen wohl von früher her in diesen Gegenden oder deren Nähe vorhanden waren; vom Eise zunächst verdrängt, vermochten sie bei seinem Rückgange öfters ihre ehemaligen Stellen wieder zu erreichen, bis sie eine neue Vereisung weit zurückdrängte oder gar ausrottete. Außerdem kann es sich um nördlich vorgeschobene Posten handeln; immerhin deuten diese Pflanzenfunde aber auf relativ milde Winter hin.

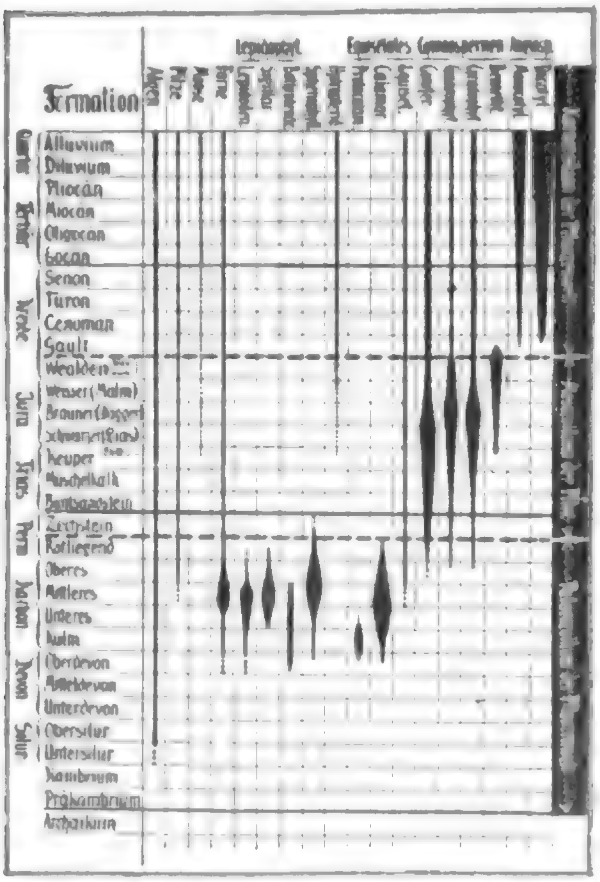
Wie schon oben angedeutet, beherbergte die Diluvialflora doch noch eine Anzahl nordamerikanisch-asiatischer Elemente, mehr als man früher annahm; von ihnen hat sich keins in die Jetztzeit hinübergerettet (bis auf die „6 nordamerikanischen Arten“ in Irland, Norwegen, Schottland). Als die wichtigsten derartigen Funde sind zu nennen: Zwei Nymphäaceen; die lange verkannte Brasenia purpurea (angeblich schon im Miozän vorkommend), deren Reste in den runden glänzenden Samen bestehen, und die vor einigen Jahren im Interglazial Rußlands gefundene Euryale ferox (Ostasien). Hierzu kommen noch die Reste der nordamerikanischen Cyperacee Dulichium in Dänemark und Deutschland und Vaccinium macrocarpum in Holland. Es scheinen also manche dieser Florenelemente noch länger bei uns persistiert zu haben als man früher annahm, ehe sie aus dem letzten schützenden Asyl vertrieben wurden. In Nordamerika blüht jene „Tertiärflora“ zum Teil heute noch, und dies hat seinen Grund in der Möglichkeit für die dortigen Pflanzen, vor der Vereisung nach Süden auszuweichen. Bei uns versperrten besonders die selbst zum Teil Vereisungszentren bildenden Mittelgebirge den Weg, und im Süden die Alpengletscher. Was daher nicht ausweichen konnte, war dem Untergange geweiht, und dies hat gerade die nordamerikanisch-ostasiatischen Elemente am schlimmsten betroffen. Unsere heutige mitteleuropäische Pflanzenwelt ist von Osten und Südosten, sowie von Westen und Südwesten eingewandert, und diese Zuwanderung vollzieht sich noch jetzt. Auf manchen Hochmooren besonders, aber auch an anderen Stellen haben wir zum Teil noch nordische Pflanzen, die manche Forscher geneigt sind, als Eiszeitrelikte aufzufassen, ob mit Recht, sei dahingestellt. Es sind dies Arten wie Dryas octopetala (früher am Meißner), Betula nana, Salix Lapponum; bei manchen von diesen handelt es sich aber wohl nur um etwas südwärts vorgeschobene Posten.

Für die postglaziale Geschichte unserer Pflanzenwelt bestehen noch eine Anzahl sehr strittiger Probleme, die wie hier nur kurz andeuten können. Man nimmt an, daß das nacheiszeitliche Klima von einer Steppenperiode oder wenigstens einer solchen trockeneren Klimas unterbrochen gewesen sei (in die auch die Entstehung des Lößes falle); von botanischer Seite erblickt man einen Hinweis hierauf besonders in dem sogenannten Grenztorfhorizont vieler norddeutscher Moore. Diese sind vorwiegend Moosmoore, und zwar meist aus Sphagnum-Resten angehäuft (Torfmoosen), die zu ihrer günstigen Entwickelung ein feuchtes ozeanisches Klima verlangen. Zwischen dem älteren und jüngeren Moostorf findet man nun eine Baumstubbenschicht eingeschaltet, die zeigt, daß das Sphagnum-Wachstum damals geringere Fortschritte gemacht haben muß als vorher und nachher, sonst hätte es solchen starken Baumwuchs nicht aufkommen lassen. Bei günstiger Luftfeuchte ersticken die alles überwuchernden Sphagnen größeren Baumwuchs völlig. Man nimmt sogar, z. B. für die Alpen, eine wärmere Trockenperiode an, andere bestreiten das wieder. Die neuerliche Umfrage gelegentlich des Geologenkongresses in Stockholm hat ebenfalls kein befriedigendes Resultat gezeitigt.

Eine besondere Erwähnung verlangt aber noch die eigentümliche arktische Tertiärflora. Besonders durch die Untersuchungen O. Heers (Flora fossilis arctica) kennt man die merkwürdige Tatsache, daß zur Miozänzeit (allerdings mag wohl diese Altersangabe Heers nicht richtig sein, es handelt sich vielleicht eher um Alttertiär), die bei uns vorkommende Tertiärflora, wie Taxodieen, Magnolien, Laurineen, Ilex-Arten, Vitis usw. bis nach Grönland (70° nördlicher Breite) und selbst bis nach Spitzbergen hinaufreichte (78°). Auch von den Neusibirischen Inseln kennt man solche Tertiärpflanzen, und auch von dem eisstarrenden Grinnelland (81°44′ nördlicher Breite). Andererseits reichten subtropische

Digitized by Google

und temperierte Arten im Oligozän bis 65° südlicher Breite hinunter (Tertiärflora der Seymour-Inseln). Heer berechnete auf Grund der Flora für Grinnelland eine mittlere Jahrestemperatur von 8 bis 9°, etwa der Norddeutschlands entsprechend, für Grönland eine solche von 12° (nach Nathorst 10°). Auch wenn wir die größere Milde des Klimas im Miozän in Betracht ziehen und selbst ein höheres Alter als miozän für diese Floren annehmen, bildet diese hochnordische Vegetation gleichwohl ein Rätsel — ganz abgesehen von den etwa noch in Betracht zu ziehenden Einflüssen der Polarnacht, in deren Bereich heute eine nur einigermaßen temperierte Flora nirgends vorkommt. Neumayr meinte deswegen, daß, wenn wir uns „den Nordpol im Meridian von Ferro um 10° gegen das nördliche Asien hin verschoben denken, dadurch allerdings eine weniger abnorme Gruppierung (der fossilen Floren) erzielt würde". „Bei einer solchen Lage des Pols würde keine der Pflanzenfundstellen nördlicher als 73° liegen; es würde sich erklären, warum die Fundorte in Alaska, Sachalin usw. ein entschieden nordischeres Gepräge tragen als diejenigen auf Spitzbergen und Grönland." Den wichtigsten Beitrag zu dieser Frage der Polverschiebungen lieferte Nathorst durch die Untersuchung der tertiären Flora von Japan. Er zeigte, daß die dortige tertiäre Flora auf ein kühleres Klima hinweist, als die miocäne Deutschlands und Grönlands. Er nahm eine Polverschiebung um ca. 20° an, so daß der Pol im östlichen Asien unter ca. 70° nördlicher Breite und 120° östlicher Länge gelegen hätte, und versuchte



Graphische Darstellung des Auftretens der wichtigsten Pflanzengruppen

mit Glück die Lage der anderen Fundpunkte tertiärer Pflanzen damit in Einklang zu bringen. Ob diese Annahme der Polverschiebung richtig ist, sei dahingestellt; ihre Möglichkeit wird auch von manchen Astronomen zugegeben. Das ganze Problem ist sicher sehr schwierig.

Literatur. *Es sei bemerkt, daß die meisten Handbücher der Paläobotanik bereits 12 bis über 20 Jahre alt sind, so daß diese bei den rasch sich häufenden Fortschritten in dieser Wissenschaft in vieler Beziehung kein zeitgemäßes Bild mehr von dem Stand der Wissenschaft geben. Handbücher und Lehrbücher:* ***Schimper-Schenk*** *(der größte Teil von Schenk), Paläophytologie 1879 bis 1890 (Band II des Handbuches der Paläontologie von Zittel). —* ***H. Graf zu Solms-Laubach****, Einleitung in die Paläophytologie. 1887. —* ***H. Potonié****, Lehrbuch der Pflanzenpaläontologie. 1897 bis 1899. —* ***Derselbe****, Bearbeitung der fossilen Pteridophyten in Engler und Prantls Natürlichen Pflanzenfamilien I. 4. Abt. 1902. —* ***Zeiller****, Éléments de la Paléobotanique. 1900. —* ***Scott****, Studies in fossil Botany. I. Aufl., 1900; 2. Aufl. 2-bändig, 1910 (das Scottsche Werk behandelt meist anatomisch untersuchbare Reste aus den Torfdolomiten oder Coal-balls des Carbons). —* ***A. C. Seward****, Fossil plants. Bd. I 1898, Bd. II 1910. Wird fortgesetzt. — Zur Orientierung über einzelne Perioden und Gebiete sind auch die Abhandlungen von* ***Zeiller*** *und* ***Laurent*** *im Progressus rei botanicae zu vergleichen. — Ueber Bennettiteen speziell handeln die neuen Arbeiten:* ***G. R. Wieland****, American fossil Cycads. Carnegie Instit. of Washington 1906, sowie die in den letztjährigen Bänden der Kungl. Svenska Vetensk. Akad. Handlingar erschienenen Abhandlungen von* ***Nathorst*** *über Williamsonia, Wielandiella, Cycadocephalus usw., die noch fortgesetzt werden. Ferner sei erwähnt das groß angelegte Werk: Abbildungen und Beschreibungen fossiler Pflanzenreste. In zwanglosen Lieferungen à 20 Arten erscheinend. Herausgeber H. Potonié, unter Mitwirkung anderer Palaeobotaniker. Erschienen Lief. I—VII, 1903—1910.*

W. Gothan.

Paläogeographie

siehe den Artikel „Formationen".

Paläoklimatologie.

1. Ziel und Methode paläoklimatischer Untersuchungen. 2. Paläoklimatische Kriterien.: a) auf paläontologisch-biologischer Grundlage: α) Systematische Verwandtschaft. β) Klimatisch gebundene Merkmale. γ) Gliederung in zonare Provinzen. b) auf geologisch-geographischer Grundlage: α) Eiszeiten. β) Kohlenbildung. γ) Klimatisch gebundene Gesteinsbildungen. 3. Paläoklimatische Postulate. 4. Paläoklimatische Theorien.

Digitized by Google

1. Ziel und Methode paläoklimatischer Untersuchungen. Die Frage nach dem Klima der geologischen Vorzeit ist seit langem und häufig erörtert worden, weil augenfällige Beobachtungen über Eiszeiten in den Tropen, fossile Waldvegetation in der Arctis und Antarctis neben anderem weniger sensationellen beweisen, daß im Lauf der Erdgeschichte starke Veränderungen des Klimas stattgefunden haben. Die Aufgabe der Paläoklimatologie besteht darin, diese Veränderungen näher zu definieren und ursächlich zu erklären.

Das Klima eines Ortes wird ausgedrückt durch die Höhe und die Schwankung der Temperaturen, die Menge und jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge usw. Es wird bestimmt durch die geographische Breite, die Stärke der Sonnenwärme und weiter ausgestaltet durch eine Reihe von geographischen Faktoren, wie Lage zum Meer und zu Gebirgen, vorherrschende Winde und von den Zuständen in deren Ausgangsgebieten. Das Klima der Vorzeit kann nur erkannt werden durch indirekte Beobachtungen über eine Anzahl rein geologisch-geographischer Erscheinungen, oder über Zustände in der Verbreitung fossiler Tier- und Pflanzenformen, die in der Gegenwart an bestimmte Klimabeschaffenheiten gebunden sind und daher ähnliche für die Vorzeit voraussetzen lassen. Deshalb wird bei paläoklimatischen Untersuchungen das Klima, unter dem sich das rezente Analogon der geologisch beobachteten Tatsache herausbildet, als klimatisches Postulat eingesetzt.

Schon um diese Grundlage für alle weitere Behandlung der Frage zu gewinnen, sind große Schwierigkeiten zu überwinden, denn es ist sogar für die Gegenwart nicht immer möglich, zu entscheiden, welche Klimaqualität, ob Temperatur oder Niederschlagsmenge oder anderes, das eigentlich wirksame ist, und wieweit konkurrierende, nichtklimatische Faktoren in Betracht kommen. Weitere Unsicherheiten werden in die klimatischen Postulate dadurch hineingetragen, daß diese konkurrierenden Faktoren für die Vorzeit oft kaum abzugrenzen sind, und daß nicht immer geprüft werden kann, wieweit die herangezogenen Fälle der Gegenwart wirklich Analoga darstellen.

Weiterhin steht zur Untersuchung, welches Klima sich für den gemeinten Ort ergeben würde, wenn man die Ergebnisse der Klimatologie und Meteorologie auf die geographische Konfiguration der betreffenden Vorzeitstufe anwendet und das damalige Zusammenspiel der klimatischen Faktoren berechnet. Wenn das berechnete mit dem postulierten Klima übereinstimmt, so kann dieses Problem der Paläoklimatologie als gelöst gelten; sonst ist man darauf verwiesen, hypothetisch irgendwelche Faktoren des Klimas geändert zu denken, und wenn sich nunmehr der Einklang zwischen Postulat und Berechnung herstellt, hierin den Beweis für die Richtigkeit der aufgestellten Hypothese zu ersehen.

Die Sicherheit der auf diesem Wege gewonnenen Resultate kann nur gering sein, da in den meteorologischen Grundlagen, noch mehr in den Ergebnissen der Paläogeographie sehr vieles schwankend oder noch ganz unangreifbares Problem ist. Daher verspricht es vor der Hand nur Erfolg, die klimatischen Kriterien zu sichten, zu prüfen, wieweit man berechtigt ist, aus ihnen klimatische Postulate abzuleiten, und inwieweit diese sich in bestimmten klimatischen Werten ausdrücken lassen, während bei Untersuchungen über die Beschaffenheit des vorzeitlichen Klimas selbst und über die Zusammenhänge bei seiner Entstehung entweder wenig auszusagen bleibt oder einer recht schrankenlosen und unüberzeugenden Hypothesenbildung alle Tore geöffnet sind.

2. Paläoklimatische Kriterien. a) auf paläontologisch-biologischer Grundlage. *α*) Systematische Verwandtschaft. Die Ueberzeugung, daß ausgestorbene Tiere und Pflanzen unter denselben Existenzbedingungen standen als ihre lebenden Verwandten, lag zugrunde, als man zuerst die Fossilien in diesem Zusammenhang verwertete und aus dem Auftreten von Elephas und Rhinoceros im Quartär Europas ein tropisches Diluvialklima erweisen wollte. Dieser frappante Fehlschluß zeigt die Unzuverlässigkeit einer Argumentation, die trotzdem noch gegenwärtig häufig angewendet wird. Es mag sein, daß andere, auch weniger eng verwandte Formen in ihren klimatischen Existenzbedingungen besser übereinstimmten, doch muß das in jedem Einzelfall bewiesen, darf aber nicht vorausgesetzt werden, besonders wenn es sich um entfernte Verwandtschaft, Zugehörigkeit zu gleichen Familien oder noch höheren Systemgruppen handelt. Im allgemeinen zeigt sich, daß ein Typus, je älter er ist, gegenwärtig desto ausschließlicher den Tropen angehört. Seine ausgedehntere Verbreitung in der Vorzeit, sein damaliges Vordringen in höhere und höchste Breiten wird dann meistens verwertet, um auf seitdem eingetretene Abkühlung zu schließen, aber es ist ebensowohl möglich, daß die eingetretene Veränderung in einer Einengung der klimatischen Existenzbedingungen bestand, hervorgerufen durch das Aussterben der an kühlere Klimate angepaßten und dort durch höher spezialisierte Typen verdrängten Formen. Die zonare

Digitized by Google

Reihenfolge der Tiere und noch ausgeprägter die der Pflanzen wäre dann in erster Linie eine Funktion ihres geologischen Alters und erst in zweiter Folge ihrer Existenzbedingungen, insofern, als es jetzt allerdings meist unmöglich ist, Angehörige eines nur in den tropischen Asylen erhaltenen Typus in kühleres Klima ohne Schaden zu verpflanzen. Damit erledigen sich alle Schlüsse, die man aus der Verwandtschaft der Carbonfarne mit rezenten Marattiaceen, der Glossopteris- und Triasfloren mit Cycadeen, der polaren Tertiärfloren mit anderen subtropischen und warmgemäßigten der Gegenwart gezogen hat und zieht.

Unsicherheiten sind selbst dann nicht ausgeschlossen, wenn es sich bei Betrachtung jüngster Formationen um Unterschiede der fossilen und der rezenten Verbreitung ein und derselben Art handelt. Zunächst ist nämlich die geographische Verbreitung der lebenden Tiere und Pflanzen keineswegs allseitig bekannt; vielmehr begegnen wir sehr oft Mitteilungen, wonach eine Art oder ein Typus viel breitere, weiter ins Kalte oder ins Warme vordringende Existenzmöglichkeiten besitzt, als aus den Verhältnissen des hauptsächlichen oder bekanntesten Wohnsitzes abgeleitet wurde. Zweitens ist das Klima, und besonders die Temperatur nicht der einzige Faktor, der Verbreitungsgrenzen setzt, und drittens ist nicht bekannt, wieweit die Anpassungsfähigkeit der Arten geht, ob sie nicht trotz gleichgebliebenem Klima ihr Wohngebiet gegen früher ausgedehnt haben, oder, soweit das Klima in Betracht kommt, trotz der Veränderung den früher bewohnten Raum noch jetzt besiedelt halten könnten.

Bei Landpflanzen kann eine Art von natürlichem Fruchtwechsel, eine bei konstantem Klima vor sich gehende Aenderung der Bodenbeschaffenheit durch die Vegetation selbst, Verbreitungsgrenzen verschoben haben, was sich dann leicht bei den Landtieren wiederholt wegen deren Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Vegetation u. dgl.; bei benthonischen Meerestieren würden klimatisch ganz indifferente Vorgänge geographischer Art, wie Verlegung von Flußmündungen Wandelungen hervorbringen durch Wechsel der Facies und der Beschaffenheit des zugeführten Sediments, kurz: es gibt eine Vielheit schwer abzuschätzender Momente, die ausgeschaltet sein müßten, ehe Schlüsse auf Klimawechsel zulässig wären.

Es ist bemerkenswert, daß oftmals bei Pflanzen, aber so gut wie nie bei Meerestieren, auf Grund der Lebensbedingungen vereinzelt überlebender Arten auf die des ganzen, sonst ausgestorbenen Typus geschlossen wird. Die fossilen Vegetationen gehören weitaus vorwiegend zur Facies der wassernahen und feuchten Standorte, die Fossilfaunen aber zu sehr mannigfaltigen Facies, die meist an direkten geologischen Beobachtungen zu erkennen und zu unterscheiden sind. Daher würde man nie die Lebensweise des lebenden Nautilus, der Argonauta u. a. zum Maßstab der Existenzbedingungen vorzeitlicher Nautileen und Ammoneen und der Ausdehnungs- und Anpassungsfähigkeit des ganzen Typus machen, da allzu offenbar die wenigen lebenden Repräsentanten auch nur wenige der für das Ganze gegebenen Lebensmöglichkeiten darstellen.

Mag man also auf diesem Wege zu erwägenswerten Vermutungen gelangen, so bleiben diese doch stets an Hand anderer Erfahrungen nachzuprüfen, wenn sie irgendwelchen Wert erhalten sollen.

β) **Klimatisch gebundene Merkmale.** Hauptsächlich im Pflanzenreich, aber auch bei Tieren gibt es eine Reihe von Merkmalen, die unabhängig von systematischen Verwandtschaften bei den unter gleichem Klima lebenden Formen auftreten und zuweilen auch an fossilem Material erkennbar sind. So zeigt die Eocänflora von Aix Blattformen, die ihr eine Aehnlichkeit mit rezenten aus manchen Gegenden Afrikas und Australiens aufprägen und berechtigen, dieser Zeit und Gegend ein warmes und trockenes, von heftigen Regenzeiten unterbrochenes Klima zuzuschreiben. Andererseits wird das Klima der Stein- und Braunkohlenbildungen durch die flächenhaft ausgebreiteten Wurzeln der Bäume als feucht und zur Sumpfbildung führend charakterisiert.

Nicht ganz geklärt ist der Wert, den das Vorhandensein oder Fehlen von Jahresringen bei fossilen Hölzern besitzt, denn wenn auch zweifellos die periodische Ausbildung von „Herbstholz" auf jahreszeitliche Schwankungen und periodische Unterbrechung des Wachstums deutet, so ist doch das Wesen der Schwankung hieraus allein noch nicht zu bestimmen und vor allem die Berechtigung des negativen Schlusses, aus der Abwesenheit von Jahresringen auf Abwesenheit jahreszeitlicher Schwankungen, nicht erwiesen.

Der Bestimmtheit gegenüber, mit der zuweilen Jahresringe an fossilem Holz als Beweis für Unterbrechung des Wachstums durch Winterkälte hingestellt werden, nimmt es sich seltsam aus, daß die Botanik dieser Frage noch umständliche Untersuchungen an lebendem Material widmet. Der Stand des Problems läßt sich dahin zusammenfassen, daß 1. im Wechselklima der gemäßigten und kühlen Zonen mit einer unter das zur Vegetation nötige Minimum sinkenden Wintertemperatur die Wärmeschwankung, 2. im Wechselklima der Aequatorialzone mit starker Trockenperiode die Feuchtigkeitsschwankung das Wachstum zum Stocken bringt, daß 3. Pflanzen, die aus höheren Breiten eingewandert sind, auch in den Tropen durch Vererbung die Wechselzonenbildung beibehalten können und

Digitized by Google

daß 4. eine Polarflora, auch bei konstanter Temperatur auf die Annäherung der Polarnacht vermutlich durch Bildung von „Herbstholz" reagieren würde. Demnach eröffnet das Auftreten von Jahresringen bei fossilem Holz nur eine Anzahl von Vermutungen über die Ursache, die an anderen Kriterien nachgeprüft werden müssen. Das Fehlen von Jahresringen in fossilem Holz beweist keineswegs ein das Jahr hindurch konstantes Klima von tropischem Charakter, denn Ringlosigkeit oder Undeutlichkeit der Ringe ist nicht ein Merkmal des Tropenholzes, sondern tritt gegenwärtig unter jedem Klima als generisches Merkmal oder als Folge ungünstiger Vegetationsbedingungen auf. Stets ist dann das „Frühjahrsholz" unterdrückt. Besonders bei Araucaria ist unter jedem Klima das Vorwalten des Herbstholzes, Undeutlichkeit oder Fehlen der Ringe beobachtet. Diese Gattung hat sich also nur wenig von dem Holztypus des ganz ringlosen Araucarioxylon entfernt. Hiernach ist wohl das dickwandige Herbstholz als der phylogenetisch-ältere Typus zu betrachten, Araucaria überliefert eine primitive, in anderen Stämmen überwundene Entwickelungsstufe im Auftreten des phylogenetisch-jüngeren „Frühjahrsholzes", und die Ringlosigkeit erscheint nur als ein generisch-phyletisches, nicht als ein klimatisch charakterisiertes Merkmal der älteren Hölzer.

Die paläozoischen Hölzer sind von Zuwachszonen frei bis auf vereinzelte Funde im Perm von Kuznezk in Sibirien, von Neusüdwales und den Falklandsinseln. Die beiden letztgenannten Fundorte befanden sich vielleicht noch unter dem klimatischen Einfluß benachbarter Eiszeitreste. Diese Erklärung ist unanwendbar für die Gegend von Kuznezk. Aus allgemein geographischen Gründen möchte man dieser Gegend ein kühleres Klima zuschreiben, ohne doch anderer Deutungsmöglichkeiten wegen eine dahin gehende Behauptung wagen zu dürfen. Später treten Jahresringe, unscharf ausgebildet, im mittleren Jura Europas, schärfer an der Grenze von Jura und Kreide in der Arctis auf. Auch hier muß eine Entscheidung über die Ursache unterbleiben.

Das hervorstechendste floristische Merkmal höchster Breiten in der Gegenwart liegt im Fehlen der Waldvegetation, darin zugleich auch einer der schärfsten Unterschiede zwischen Gegenwart und Vorzeit der beiden Polargebiete. Eine erhebliche Verschlechterung des Klimas hat sich also hier vollzogen, jedoch hält nicht so sehr die Kürze und geringe Wärme des Sommers die Baumgrenze von den arctischen Küsten entfernt, als die kalten austrocknenden Winde, die vom kalten Meer ausgehen, eine schädliche Transspiration hervorrufen und so alle höher ragenden Pflanzen abtöten. Wenn der Gedanke ausgeschaltet ist, daß man das Wärmebedürfnis fossiler Pflanzen aus dem ihrer lebenden Verwandten berechnen könne, so darf für die vorzeitlichen Floren nur das Klima postuliert werden, das den gegenwärtigen Waldbäumen erlauben würde, in die von den vorzeitlichen innegehabten Standorte einzurücken. Ein derartig begründetes Postulat ist noch nicht aufgestellt, und es dürfte fraglich sein, ob die Erfahrungen der Botanik dafür schon eine Unterlage bieten könnten.

Die im Miocän Norddeutschlands bekannt gewordenen Frostschäden an Blättern beweisen gelegentliche Kälterückfälle zur Zeit der Knospenentwickelung, stehen aber so vereinzelt, daß ihnen fast nur die Bedeutung einer Kuriosität zukommt.

Im Tierreich sind klimatisch deutbare Merkmale sehr viel seltener konstatiert, vielleicht weil sich bei fossilem Material die Aufmerksamkeit erst wenig auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Existenzbedingungen und Adaptivmerkmalen gerichtet hat. Die für die Gegenwart und Vorzeit öfters betonte Aehnlichkeit arctischer und antarctischer Tierwelt, ferner eine Beobachtung Uhligs, wonach unter den Ammoniten des borealen Jura mehrere Typen, obschon zu verschiedenen Stämmen gehörig, „durch eine Gemeinsamkeit wichtiger und eigentümlicher Merkmale ausgezeichnet" sind, scheint einer diesem Gegenstand gewidmeten Untersuchung Aussicht auf manche Ergebnisse zu eröffnen; diese wären freilich erst dann für klimatologische Zwecke zu verwenden, wenn es gelänge, unter den Triebkräften der konvergenten Entwickelung alle konkurrierenden Einflüsse der Facies abzugrenzen und auszuschalten.

Diese Vorbedingung muß freilich auch erfüllt sein, ehe ein sehr häufig und meist ohne Einschränkung eingeführtes Argument, das Auftreten von Riffkorallen, Rudisten, Nerineen, großen Foraminiferen und ähnlich charakterisierten Organismen, zu sicheren Schlüssen auf das Klima führt. Der biochemische Prozeß starker Kalkabsonderung geht nur bei höheren Temperaturen und infolgedessen nur in den Oberflächenschichten tropischer Meere vor sich. Hiernach gibt das Auftreten dieser Typen, soweit unsere Erfahrungen an rezenten Analogien reichen, ein sicheres Kennzeichen tropischer Temperaturen ab, während umgekehrt ihr Fehlen, das oft als negatives Merkmal zur Charakteristik borealer Faunen genannt wird, nicht ebenso bestimmt auf kühleres Klima verweist. Außer einer zu niedrigen Temperatur können nach Ausweis der rezenten Korallen auch facielle Zustände diese Faunenbestandteile ferngehalten haben, Verunreinigungen des Wassers durch Süßwasserzuflüsse oder mechanisches Sedimentierungsmaterial, thonigen oder sandigen Detritus.

Das vorübergehende, fast völlige Verschwin-

Digitized by Google

den der Rudisten, Riffkorallen usw. im Albien ist von einer allgemeinen Aenderung des Sediments, einer Ueberhandnahme thoniger Bildungen begleitet, also nicht durch Klimaverschlechterung zu erklären. Das Cambrium ist eine sogenannte geokratische Periode; seine Ablagerungen gehören vorwiegend einer Facies an, der auch später Riffkorallen fehlen. Im Silur treten plötzlich die starken Kalkbildner in großer Häufigkeit, aber zugleich mit Transgressionen auf. Daher ist der nächstliegende Schluß, daß wir die Facies der Kalkbildner im Cambrium wie im Albien zwar nicht kennen, aber als existierend vorauszusetzen haben. Dagegen ist kaum gerechtfertigt, hiernach, wie Haug anzunehmen neigt, dem Cambrium ein universell kühles Klima zuzuschreiben.

Die heutigen Polarfaunen zeigen eine auffällige Beschaffenheit, indem sie nur eine beschränktere Anzahl von Arten, diese aber in großer Individuenzahl enthalten. Aehnlich sind aber alle Faunen, die unter ungünstigen Existenzbedingungen stehen, zusammengesetzt. Die wenigen Arten, die sich mit der Kälte, dem verstärkten oder herabgesetzten Salzgehalt vertragen, vermehren sich, von Konkurrenz befreit, ins zahllose. Daher gibt z. B. dieses Merkmal der deutschen Zechstein- und Muschelkalkfauna keinen Anlaß, diese Meere als klimatisch-boreal zu charakterisieren und danach eine Abkühlung der angrenzenden Länder anzunehmen.

Das Erlöschen der großen Saurier und das Aufblühen der Placentalier an der Wende von Kreide und Tertiär wird zuweilen mit gleichzeitigem Wechsel des Klimas in Verbindung gebracht, wohl auf Grund von Theorien über die Ursache des Aussterbens ganzer Tiergruppen; diese Theorien sind an sich ungewiß und anfechtbar; derartige Argumente führen also in ein Knäuel unlösbarer und unklarer Probleme und können die schon ohnehin schwierigen Fragen der Paläoklimatologie nur noch mehr verwirren.

An und für sich können zwar Placentalia als Warmblüter in kühlem Klima besser gedeihen als poikilotherme Reptilien. Aber wenn aus poikilothermer Wurzel zwei warmblütige Stämme, Säugetiere und Vögel, selbständig hervorgegangen sind, so kann auch nicht als sicher bewiesen gelten, daß die ganz verschwundenen Gruppen der Dinosaurier und Theromorphen poikilotherm waren. Ferner stände die Annahme, daß die Placentalier durch Uebersiedelung in ein kühleres Klima zu reicherer Entfaltung angeregt worden seien, ohne rezentes Analogon da. Die tertiäre Weiterentwickelung des Stammes prägt in vielem nur die Divergenzen schärfer aus, die schon im Eocän entgegentreten, verfolgt also Richtlinien weiter, die schon in der unbekannten Vorgeschichte eingeschlagen sein müssen. Hieraus dürfte hervorgehen, daß keine wesentliche Aenderung der Existenzbedingungen mit der Einwanderung in die amerikanischen Kontinente verbunden war oder daß, wenn ein — anderweitigen Nachweises bedürftiger — Klimawechsel zu dieser Zeit eintrat, er nur eine ziemlich gleichgültige Existenzbedingung betraf. In keinem Fall wird durch die Einbeziehung dieser deszendenztheoretischen Vorstellungen die Lösung paläoklimatischer Probleme gefördert.

Die Ausbeute an sicheren Kriterien, die ohne weiteres ein bestimmtes zahlenmäßig oder der Art nach umschriebenes Klima zu fixieren erlauben, ist also auch hier schmal. Außer dem positiven Schluß aus dem Vorhandensein der Kalkbildner haben alle hierher gehörigen Argumente zur Voraussetzung, daß durch oft schwierige Untersuchung andere, nicht-klimatische Faktoren ausgeschaltet oder abgegrenzt werden müssen, denen die zunächst auf Klimabeschaffenheit gedeutete Wirkung ebenfalls zugeschrieben werden könnte.

γ) Gliederung in zonare Provinzen. Bei Landfloren und Landfaunen wird die Begrenzung der Verbreitungsbezirke weniger durch das Klima als durch geographische Zustände, trennende Gebirge, Kommunikationsmöglichkeiten u. dgl. bestimmt. Daher ist schon in der Gegenwart eine die mathematischen Klimazonen widerspiegelnde Gruppierung nur sehr undeutlich und dann vielfach nur an konvergenten Merkmalen erkennbar, noch weniger also in der Vorzeit, wo die lückenhafte und ungleichmäßige Ueberlieferung hemmend hinzutritt. Die geographischen Verhältnisse mancher Perioden werden durch den Gegensatz eines nördlichen und eines südlichen Kontinentes bestimmt. Dadurch wird z. B. im Perm das Scheinbild gürtelförmiger Provinzen hervorgerufen, die eine mit der Glossopteris-, die andere mit der Lepidodendronflora. Indessen schwindet bei der Glossopterisflora der Anschein zonarer Begrenzung, sobald man auch die kleineren und zerstreuteren Vorkommnisse in Betracht zieht: nur die Gestalt der Kontinente und die Lage der Wanderungswege bestimmten die Verbreitung der beiden Florentypen.

Auch im Meere entsteht die hier deutlich erkennbare, wenn auch meist verschobene, Zonengestalt der tiergeographischen Provinzen hauptsächlich dadurch, daß die marine Zirkulation bis zu einem gewissen Grad von der geographischen Breite abhängt. Durch die Existenz gürtelförmiger Provinzen, wie sie seit Neumayr und Roemer in Jura und Kreide, später auch unter mancher Abänderung jener ersten Ergebnisse in anderen Perioden nachgewiesen sind, ist strenge genommen nur dargetan, daß in den damaligen Meeren abgegrenzte Zirkulationssysteme bestanden. Andere direktere Kriterien müssen hinzukommen, ehe

Digitized by Google

der Schluß auf entsprechende Temperaturunterschiede ganz gerechtfertigt ist.

Paläogeographische Darstellungen, die nur stratigraphische Tabellen in anderer Form wiedergeben, sind schweren Einwürfen ausgesetzt, da der Grundsatz, räumlich getrennte Faunen auf Grund übereinstimmender Leitfossilien zeitlich gleichzustellen, in der Stratigraphie eine notwendige Arbeitshypothese, in der Paläogeographie aber methodologisch unzulänglich ist. Daher sind Rekonstruktionen früherer Länder und Meere nur dann — innerhalb der gebotenen Grenzen — zuverlässig zu nennen, wenn sie auf eng umschriebene Bezirke beschränkt sind, und werden um so unzuverlässiger, je mehr sie sich zur Umspannung der Welt auswachsen. Außerdem ist es unmöglich, in ein Meer von gegebener Gestalt frei, nur auf Grund der Entstehungsgesetze Zirkulationssysteme hineinzukonstruieren, da sich stets mehrere Möglichkeiten mit ganz verschiedenen klimatischen Konsequenzen ergeben, ohne daß man mit geographisch-physikalischen Hilfsmitteln eine als die wahrscheinlichste auswählen könnte.

Wenn Grönland und Labrador in landfeste Verbindung träten, sich sonst aber in den Verhältnissen des heutigen atlantischen Ozeans nichts änderte, so fiele zwar der Labradorstrom und die Abkühlung, die jetzt der Golfstrom auf der Höhe von Neufundland erleidet, fort, aber die Wassermasse, die jetzt durch die Davisstraße abfließt, müßte sich einen anderen Weg suchen, würde also entweder einen der zwischen Grönland und Europa fließenden kalten Ströme verstärken oder einen neuen kalten Strom hart an der europäischen Küste bilden. In letzterem Fall würden die Meerestemperaturen um Island und Spitzbergen wahrscheinlich steigen, gleichzeitig geriete Skandinavien in die klimatische Lage des heutigen Grönland und würde wahrscheinlich vereisen. In ersterem Falle hängen die klimatischen Folgen für Europa davon ab, ob die verstärkten kalten Ströme, wie jetzt, von der Meeresoberfläche verdrängt würden, oder, wie jetzt im Südatlantik, die Oberhand behielten. Dadurch würde entweder eine allgemeine Temperaturerhöhung oder eine ebenso allgemeine Temperaturerniedrigung, letztere vermutlich mit einer Verminderung der Niederschläge an den europäischen Küsten, hervorgerufen. Welche dieser und anderer leicht erdenklicher Möglichkeiten sich verwirklichte, hinge ab von der Richtung, Stärke und Geschwindigkeit der beiden Stromsysteme, von Zuständen also, die sich nicht rekonstruieren lassen.

Meeresströme der Vorzeit werden für uns nur erkennbar, soweit wir ihre Verschiebungen an Faunenwanderungen direkt beobachten können, also wiederum nur in eng umschriebenen Bezirken, die zu der gegebenen Zeit ein strittiges Grenzgebiet zweier oder mehrerer Provinzen darstellten. Je weiter man über dieses Gebiet hinausgreift, desto mehr verschwimmen die Linien der Zirkulationssysteme. Die zonare Anordnung vorzeitlicher Faunenprovinzen ist also viel vertrauenswürdiger zu beweisen aus einem engen, genau bekannten Bezirk, in den sie durch Meeresströme von verschiedenen Seiten her eindrangen, als durch die gürtelförmige Gestalt, in der ihre Verbreitungsbezirke, als Ganzes betrachtet, uns entgegentreten.

Erheblicher noch und schwieriger scheint die Frage, was aus der angeblichen Existenz einer Universalfauna zu schließen sei. Wenn man ein universal gleichmäßiges und gleichartiges Klima daraus folgert, so wird der Wert des uns bekannten Tatsachenbestandes überschätzt, und so wäre es richtiger, in solchen Fällen klimatische Deutungen überhaupt zu unterlassen.

Die zu allen Zeiten gelegentlich auftretenden sogenannten kryptogenen Gattungen beweisen, daß stets außer den uns bekannten Faunen noch andere, abweichend zusammengesetzte bestanden. Eine „Universalfauna“ ist also nichts weiter als die Fauna einer einzigen tiergeographischen Provinz, scheinbar universal, weil alle uns bekannten Ablagerungen dieser Zeit, vielleicht mit Ausnahme zerstreuter und deshalb nicht abgrenzbarer Fragmente anderer, dieser einen angehörten. In der Tat ist die Ausdehnung, in der die „Universalfauna“ des Untercarbon nachweisbar vorliegt, nicht so sehr viel größer als die der heutigen indopazifischen Provinz. Die große, fast die Hälfte der Erde bedeckende Fläche des Stillen Ozeans mit den angrenzenden antarctischen Meeren bietet Raum genug für vorzeitliche Weltmeere und Kontinente, deren Faunen, wenn wir sie kennten, alle aus sonstigen Fossilfunden gezogenen Schlüsse aufheben könnten. Negativen Schlüssen, die aus einer lückenhaften Kenntnis einer knappen Hälfte der eigentlich erforderlichen Grundlagen gezogen werden, wohnt keinerlei Beweiskraft inne. Vielmehr muß damit gerechnet werden, daß wie in der Gegenwart, so in der gesamten Vorzeit mehr oder weniger geschlossene Zirkulationssysteme in den Meeren bestanden, in denen sich selbst bei Abwesenheit von Temperaturunterschieden, schon infolge von Isolation, Faunenverschiedenheiten entwickeln mußten, vorausgesetzt, daß die damalige Tierwelt genügend reaktionsfähig war. Jedoch sind z. B. Brachiopoden, auf welche sich derartige Erörterungen für das Untercarbon mit der anscheinend best bewiesenen Universalität der Fauna vorwiegend stützen müssen, zu wenig variierbar in ihren Merkmalen, zu wenig veranlagt, vielseitig differenzierte Schalengestalten hervorzubringen, als daß man aus der weltweiten Verbreitung ähnlicher oder übereinstimmender Formen auf die Nichtexistenz von umgestaltenden Faktoren schließen dürfte, deren Wirkung vielleicht nur des ungeeigneten Substrates halber nicht zum Ausdruck gelangt sein könnte.

In anderen Fällen entspringt die Unmöglichkeit, zonare Provinzen abzugrenzen, aus offenbaren Lücken unserer Kenntnis, so im Lias, der mittleren Trias und in den ältesten Formationen, Silur und Cambrium.

Ueberblickt man die Gesamtheit der

Digitized by Google

klimatischen Kriterien, soweit sie auf paläontologisch-biologischer Grundlage beruhen, so schält sich nur weniges als einwandfrei heraus. Vieles, das zu Aufschlüssen verwendbar schien, ist entweder ohne wirklichen klimatischen Bezug, oder vieldeutig, oder schließlich eng mit anderen unabgeschlossenen Vorstellungsreihen verknüpft, namentlich mit Problemen der Deszendenztheorie oder Paläogeographie. Man hat zuweilen versucht, mehrere dieser unsicheren Kriterien, wenn keines für sich allein zu einem sicheren Ergebnis führte, aber sie sich allesamt in einer bestimmten Weise auslegbar zeigten, eines durch das andere zu stützen, gewissermaßen als ob die Bedenken gegen die Qualität der Argumente bei ihrer Quantität nicht mehr aufkommen könnten. Ein derartiges Verfahren mündet leicht aus in das gerade bei dieser Frage häufige Zuvielbeweisenwollen und in ein Herbeiziehen fremdartigster Argumente, ist vor allem zahllosen, unkontrollierbaren Irrtumsmöglichkeiten ausgesetzt, spiegelt ein Wissen vor, wo das Eingeständnis des Nichtwissens förderlicher wäre, und ist ganz besonders abzulehnen, wenn erst wie hier die Unterlagen für die Behandlung des eigentlichen Themas gewonnen werden sollen.

2b) Paläoklimatische Kriterien. a) Auf geologisch-geographischer Grundlage. α) Eiszeiten. An anderer Stelle (vgl. den Artikel „Eiszeiten") ist ausführlicher besprochen, welche Anschauungen über das Klima der Eiszeiten aufgestellt sind, und was von ihnen zu halten ist. Daher ist hier nur zu erwägen, inwieweit negative Schlüsse, aus der Abwesenheit von Eiszeitspuren berechtigt sein mögen.

Die eigentlichen Gletscherbildungen werden als lockere Aufschüttungen bei einer folgenden Transgression oder schon durch subaërische Erosion von genügender Dauer vollständig zerstört; die erratischen Blöcke verlieren bei einer Umlagerung alle Spuren des Gletschertransports und nur bei Grundmoränen von größerer Ausdehnung, wenn sie von unmittelbar folgenden Gesteinsschichten eingedeckt werden, ist die Möglichkeit vorhanden, daß sie mit den Anzeichen für glaziale Entstehung erhalten bleiben. Solche Grundmoränen aber sind im Quartär engbegrenzte Erscheinungen gegenüber der weltweiten Verbreitung des ganzen Phänomens. Demnach können wir von älteren Eiszeiten nur etwas wissen, wenn sich ihre großen Zentra auf einer gegenwärtig wieder trocken liegenden Landfläche befanden.

Die indirekten Folgen der quartären Eiszeit sind auffällig gering und bestehen in der Hauptsache in Verschiebungen der Meeresfaunen ohne irgendwie wesentliche Umgestaltungen ihres Artenbestandes. Derartige Begleiterscheinungen vorzeitlicher Eiszeiten würden sich der geologischen Beobachtung entziehen. Wenn die Vermutung berechtigt ist, daß im Quartär die alten Tiefseefaunen ausstarben und durch neu angepaßte ersetzt wurden, so wäre dieser rasche Faunenwechsel bei sonstigem Auftreten zwar nicht zu verkennen, aber er gäbe doch wohl, wenn nicht noch andere Anzeichen vorlägen, nicht gerade Anlaß zum Schluß auf eine intervenierende Eiszeit. Daher kommt auch hier der negativen Argumentierungsweise nur geringe Ueberzeugungskraft zu, dagegen verdienen erratische Blöcke in marinen oder lagunären Schichten als Spuren einer von uns unbekannten Oberflächen alter Kontinente ausgehenden Eisdrift größere Beachtung, als ihnen gemeinhin zuteil wird.

β) Kohlenbildung. Bis vor kurzem wurde allgemein die Ansicht vertreten, daß massenhafte Ansammlungen vegetabilischen Materials nach Analogie der Torfbildung nur in gemäßigtem oder kühlem, nicht in heißem Klima vor sich gegangen sein könnten, da in den Tropen eine vollständige Zersetzung der vegetabilischen Reste einträte. Nachdem nun neuerdings Torfbildung auch in tropischen Sumpfmooren beobachtet ist, scheidet Torf- oder Kohlenbildung aus den klimatischen Kriterien aus, da sie offenbar unter jedem Klima stattfindet, wenn es nur feucht ist und Pflanzenwuchs ermöglicht.

Vielleicht würde genauere Beobachtung spezifische Merkmale des Tropentorfes gegenüber dem der gemäßigten Zonen herausfinden können; dann wäre zu fragen, ob nicht zwischen paläozoischen, mesozoischen und tertiären Kohlen sowie zwischen solchen gleichen Alters, aber aus verschiedenen Breiten, analoge Unterschiede beständen. Anhaltspunkte zur Formulierung bestimmter Fragen und Vermutungen scheinen jedoch noch nicht gegeben zu sein.

γ) Klimatisch gebundene Gesteinsbildungen. Die sichersten bisher bekannten Kriterien über vorzeitliches Klima bestehen in Verwitterungserscheinungen und chemischen Gesteinsbildungen, zu denen für die jüngsten Zeiten noch eine Anzahl epikontinental entstandener Bodenformen hinzutreten. Dafür liefern sie aber vielfach auch nur Deutungen von örtlich beschränktem Bereich, die ihre richtige Stellung im Rahmen des Ganzen erst erhalten, wenn mit Hilfe anderer Kriterien die großen Grundlinien festgelegt sind.

Laterit und Bauxit sind typische Verwitterungsprodukte des tropischen Klimas, von denen sich das erstere zwar bei ganz ausnahmsweisen Verhältnissen auch unter kühlen Temperaturen zu bilden scheint; ausgedehnte lateritische Gesteinsbildungen, namentlich rote Sandsteine, lassen jedoch nach den bisherigen, wiederholt bestätigten

Digitized by Google

Erfahrungen allein den Schluß auf hohe Wärme zur Entstehungszeit zu. In kühlem Klima bilden sich dafür verschiedenfarbige, gelbe bis braune Verwitterungsprodukte.

Die Frage scheint noch offen, ob wirklich die Temperatur bestimmt, welche Verwitterungsprozesse vor sich gehen. Das Sonnenlicht hat in den höheren Breiten eine andere chemische Wirkung als in den äquatorialen; somit könnte die Lateritentstehung auch direkt an Breiten mit annähernd vertikaler Sonnenbestrahlung gebunden sein.

Hiernach wäre im Cambrium die Klimaverteilung der jetzigen ziemlich ähnlich gewesen, im Unterdevon, zur Zeit des alten roten Sandsteins aber das tropische Klima bis in die Breite Spitzbergens, vom Perm bis zum Eocän immer noch bis Mitteleuropa vorgedrungen.

An die ungeheuer mächtigen und weitverbreiteten Sandsteinbildungen, die zwischen Devon und Trias auf dem nordatlantischen Festland und an seinen Küsten entstanden, knüpft sich eine anziehende, aber vielfach scharf bekämpfte Theorie von großer Bedeutung für klimatische Fragen, nämlich die von J. Walther aufgestellte Wüstentheorie. Nach ihr wäre seit dem Algonkian bis ins Mesozoikum dieser Kontinent eine einheitliche, von vereinzelten Seen unterbrochene Wüste gewesen; das Material der marinen Sandsteine wäre, wie jetzt aus der Sahara in den atlantischen Ozean, so damals in das devonische Meer durch Stürme hinausgetragen, die meisten der permischen und triassischen Sandsteine aber epikontinental, gleich den Sandmassen im heutigen Wüstengürtel aufgehäuft und erst nachträglich verfestigt. Dem ist entgegengehalten, daß die Sandsteine des Rotliegenden und der Trias gleichfalls marin, und zwar in Lagunen abgesetzt seien. Dadurch verändern sich mit der paläogeographischen auch die klimatischen Vorstellungen.

Für letztere ist zwar vieles an dieser Streitfrage ohne Bedeutung. Zunächst sind die cambrischen und präcambrischen Wüsten nicht klimatisch entstanden zu denken, sondern sie waren „Urwüsten", entstanden in einer Zeit, die überhaupt, soweit wir wissen, noch keine Landvegetation besaß. Daher mußten die Kontinentalflächen unter jedem Klima Wüsten sein. Wieweit die „Wüsten" des späteren Paläozoicum und der Trias klimatisch dem Bild der heutigen Wüsten entsprachen, ist nicht zu entscheiden, denn die Flora trockener, von Seen entfernter Standorte hat so ungünstige Erhaltungsaussichten, daß man aus dem Fehlen fossiler Reste nicht auf das Fehlen dieses Vegetationstypus schließen kann. Das Klima, unter dem diese Sandsteine entstanden, wird also stets nach anderweitigen Kriterien beurteilt werden müssen.

„Das einzige sichere Merkmal ariden Klimas sind Salz- und Gipslagerstätten. Alle sonstigen Oberflächenformen der Wüste können bei Abwesenheit der Vegetation unter humidem Klima ebensogut entstanden sein. Nach diesem Grundsatz Pencks ergibt sich, daß vom Silur bis in die Trias im Umkreis der nördlichen Festländer vielfach ein arides, klimatische Wüsten hervorrufendes Klima bestand, das aber, da Salz- und Gipsabsatz jetzt noch in gemäßigten Breiten geschieht, keineswegs zugleich durch hohe Temperaturen ausgezeichnet zu sein brauchte, ebenso wie die lokal nachweisbare Aridität nicht als allgemeiner Charakterzug des Klimas über den ganzen Kontinent hingestellt werden kann.

Hingegen spricht die rote Farbe der meisten dieser Sandsteine, die lateritische Verwitterung, die hiernach dem Absatz voraus- oder parallelgegangen ist, für ein Klima mit einer gewissen Niederschlagshöhe, da Laterit in der Wüste nicht entsteht und nach Blanckenhorn die gelegentlich vorhandene rote Färbung des Wüstensandes allein auf die Farbe der zu Sand zerriebenen Untergrundgesteine zurückzuführen ist. Auf dieser Grundlage gelangt man zu der Vorstellung, daß dem Absatz der roten Sandsteine des Perm und der Trias ein sehr trockenes Klima vorausging, daß aber der Absatz selbst erfolgte in einer Zeit erhöhter Niederschläge, und zwar in Lagunen und seichten Küstengewässern des Meeres, unter Mitwirkung von Flüssen, die den vorher gesammelten und nunmehr lateritisch zersetzten Wüstenschutt umlagerten.

Wenn also nach Walther Perm und Trias in Mitteleuropa Festlandszeiten und Perioden extremer Trockenheit darstellen, unterbrochen von flachen Transgressionen im Zechstein und Muschelkalk, so sind nach Blankenhorn die beiden letztgenannten Zeiträume gerade umgekehrt Zeiten von Wüstenklima auf dem Festlande und Einschränkungen der Meere, eingerahmt von Transgressionen und Zeiten reichlicher Niederschläge.

Zwischen dem Klima einer Wüste und dem einer Steppe, zwischen diesem und dem einer Tundra bestehen natürliche Uebergänge, doch gehören Steppen den mittleren, Tundren den hohen Breiten an. Pflanzentypen, die eine längere Dauer der Vegetationsperiode erfordern, fehlen in den Steppen wegen deren sommerlicher Dürre, in den Tundren wegen der Kühle des Sommers und der Nachbarschaft kalter Meere. In ihren geologischen Wirkungen sind diese so verschiedenen Bedingungen nicht immer leicht zu unterscheiden. Dünen entstehen in vegetationslosen Gebieten jeder Art und Verursachung, dagegen setzt die Anhäufung von Löß eine Grasvegetation voraus, die den leichten Staub festhält und immer wieder eindeckt, ist also an Steppen gebunden. Trotzdem ist nicht ohne weiteres sicher, daß die Steppen, in denen der quartäre Löß sich ansammelte, aus klimatischen Gründen entstanden waren, denn die Beschaffenheit des eben erst vom Eis befreiten Bodens, oder vielleicht auch die kalten, vom zurückweichenden Inlandeis herüber-

Digitized by Google

dringenden Winde konnten, in mancher Beziehung ähnlich wie heute in den Tundren, die Existenz einer ausdauernden Waldvegetation unmöglich gemacht haben.

3. Paläoklimatische Postulate. Die Verhandlungen des X. internationalen Geologenkongresses zeigten, welch ein Chaos von Widersprüchen in Grundzügen und Einzelheiten der klimatischen Erdgeschichte noch besteht. Für keine Epoche stehen klimatische Kriterien in solcher Vielseitigkeit, Vollständigkeit und Triftigkeit zur Verfügung als für die Späteiszeit, weil aus ihr allein epikontinentale Bildungen im ganzen unversehrt überliefert sind, und weil bei der klimatischen Deutung des Beobachteten überall nah verwandte Verhältnisse der Gegenwart herangezogen werden können. Aber die umfassend vorbereiteten Verhandlungen des XI. Kongresses über dieses enger begrenzte Thema führten zu dem gleichen, kaum verschleierten Mißerfolg. Die symptomatische Bedeutung dieser Uneinigkeit betonte Gunnar Andersson in seiner Uebersicht über die aus Mitteleuropa eingelaufenen Berichte:

„Es ist klar, daß die alten Kulturstaaten, in denen die Wiege der naturwissenschaftlichen Forschung gestanden hat, das Gebiet der Erde sein werden, wo auch in den vorliegenden Fragen die reichsten Beobachtungen angestellt worden sind. — Es ist aber auch ein Beweis dafür, mit welchen großen Schwierigkeiten eine Rekonstruktion des Klimas vergangener Zeiten verbunden ist, daß nicht einmal hier die Ansichten sich haben einigen können, vielmehr in vielen Fragen weit auseinandergehen."

Es ist also stark mit der Gefahr zu rechnen, daß überall da, wo in älteren Perioden eine befestigtere Ansicht über das Klima gewonnen zu sein scheint, die Widersprüche nur ausbleiben, weil infolge der Unvollständigkeit der Kriterien die Probleme nur von einer einzigen Seite her behandelt werden können.

Darum läßt sich von „Kenntnissen" auf dem Gebiet der Paläoklimatologie höchstens bei einigen ganz allgemeinen oder ganz speziellen Vorstellungen reden, bei allem übrigen, besonders bei den näheren Bestimmungen, aber nur von „Meinungen" provisorischer Art, die viel zu schwankend sind, als daß sie wie andere Ergebnisse der Geologie weitergehenden Schlüssen wieder zugrunde gelegt werden dürften. In diesem Sinn will die folgende Zusammenstellung aufgefaßt sein.

1. Das Klima der Meere. Im oberen Jura und der Kreide Südfrankreichs begegnen sich zwei klimatisch verschieden charakterisierte Meere, die Tethys mit ihrer Riffkorallenfauna und später den Rudisten, und zweitens ein Borealmeer, das auf verschiedenen Wegen mit einer Polarsee in Verbindung stand. Im Eocän tritt noch eine gesonderte atlantische Fauna hinzu, während das strittige Grenzgebiet sich zugleich nach dem Norden Frankreichs verlegt. Die Tethys stellt sich seit dem Untercarbon als bestimmender Faktor der Paläogeographie, und soweit überhaupt klimatische Kriterien vorliegen, also seit dem Obercarbon, als tropisch-warm dar; die Grenzen verschieben sich, zeigen aber auf der nördlichen wie auf der südlichen Halbkugel die allgemeine Tendenz, sich allmählich auf die Wendekreise zurückzuziehen.

Das boreale Meer ist, soweit Kriterien vorliegen, als kühler zu bezeichnen; es entsendet mehrere Ausläufer zur Tethys, von denen einer an die Westküste Nordamerikas reicht und seit dem oberen Jura bis tief in die tropischen Breiten abkühlend gewirkt haben mag. Da Fusulina in den höchsten Breiten auftritt, kann die Temperatur des Polarmeeres für das Obercarbon nicht als kalt bezeichnet werden, vielmehr soll erst die jüngste Kreidefauna Grönlands Verkümmerung und Verarmung erkennen lassen, die nach gleichzeitig in England auftretenden — freilich nicht unbestrittenen — Spuren von Eisdrift auf niedrige Temperatur zu deuten wäre. Die tertiären Faunen der Arctis sind zu wenig bekannt, als daß sich nach Unterschieden zwischen den Borealfaunen verschiedener Breiten fragen ließe; im Quartär zeigt sich die heute noch in den arctischen Meeren lebende Fauna in Vorwanderung auf beiden Seiten des atlantischen Ozeans, wo ihr Erscheinen durch das Auftreten der rezent-borealen vorbereitet und auf der europäischen Seite durch einen Gegenstoß der letzteren gegen Norden gefolgt wird.

Von den älteren Faunen bietet weder die in zwei Provinzen nicht zonarer Lage geteilte des Devon, noch die Universalfauna des Untercarbon, noch endlich die cambrische eine Unterlage für klimatische Schlüsse. Die Fauna des Silur gilt gleichfalls für allgemein tropisch, doch wird auch behauptet, daß der klimatische Abstand zwischen den Meeren Mitteleuropas und der Arctis dem gegenwärtigen analog gewesen sei, da nicht Riffbauten, sondern nur Einzelkorallen, wie auch jetzt noch in kalten Meeren, in der silurischen Arctis vorgekommen seien.

Die Verhältnisse der Südhemisphäre bleiben wegen der lückenhaften Kenntnis wohl am besten außer Betracht.

2. Klima der Landflächen. Im französischen Eocän ist zu erkennen, daß einer Vorherrschaft borealer Faunen und Meeresströme und der daraus abzuleitenden Meerestemperatur stets Floren entsprechen, deren Zusammensetzung an rezente gemäßigten Charakters erinnert, während das Uebergewicht warmer Meeresströme einhergeht mit dem Auftreten von Floren tropisch-subtropischen Ansehens. Wenn hiernach in diesen jüngsten Zeiten auf die Lebensbedingungen rezenter Verwandten einiges Gewicht gelegt werden kann, so führt doch ähnliche Behandlung der cretacischen und tertiären Polarfloren zu Widersprüchen. Die Reihe beginnt hier in der unteren Kreide mit Floren von subtropischem Habitus und setzt sich in schrittweisem Wandel bis ins Miocän und zu Floren von gemäßigtem Charakter fort. Dem hieraus sich ergebenden klimatischen Schluß stände gegenüber, daß in der Kreide wie im Tertiär den pflanzenführenden

Digitized by Google

Schichten solche mit marinen Resten eingeschaltet sind und daß diese Meere kühl und in der Kreidezeit Sitz einer Eisdrift gewesen sein sollen.

Die ältesten klimatisch deutbaren Anzeichen im nordatlantischen Kontinent weisen auf Vergletscherungen im Algonkian und Cambrium, umsäumt von Urwüsten anscheinend nichttropischen Charakters. Ihnen folgen im Unterdevon tropische Zustände, die bis ins Polargebiet reichen, und arides Klima in Nordamerika, ferner in Sibirien. Im Oberdevon und Untercarbon Spitzbergens und des König-Karl-Lands weisen Floren und Kohlenbildung auf Feuchtigkeit; den Abschluß bildet hier kurz vor der obercarbonischen Transgression ein Rückfall in völlige Aridität. Zwischen Mittelcarbon und Unterkreide bestanden vorwiegend marine Verhältnisse.

Ein allgemein feuchtes Klima charakterisiert auch die südlicheren Teile des carbonischen Nordkontinentes, und zwar scheint es der Gleichartigkeit der Floren nach im Untercarbon auf allen Festländern der Erde, im Obercarbon wenigstens über den breiten Zug der nordhemisphärischen Kohlenbildungen hin nirgends Unterschiede aufgewiesen zu haben. Manche — zwar nicht unangezweifelte — Spuren deuten auf Gebirgsvergletscherungen, bieten also ein weiteres Anzeichen für niederschlagsreiches Klima von unbestimmbaren Temperaturverhältnissen.

Jedoch stellt sich auch die Juraflora ihrer Artenzusammensetzung nach als unterschiedslos über die ganze Erde verbreitet dar; hier aber beweist das Auftreten von Jahresringen, daß klimatische Unterschiede von nicht näher definierbarer Art vorhanden waren. Durch die Anzeichen kühlerer Temperatur im Borealmeer wird der naheliegende Schluß auf ein Alternieren kühler und warmer Jahreszeiten gestützt. Da die Bäume der nördlichen Carbonflora keine Jahresringe aufzeigen, fehlen die Mittel, zu prüfen, ob sich hinter der unterschiedslosen Artenzusammensetzung nicht ebenfalls eine uns unerkennbare klimatische Differenzierung verbirgt.

Im Perm setzt über Europa und den Nachbargebieten eine Trockenperiode ein, die nach manchen Schwankungen mit der Trias ihr Ende erreicht. Weitere Anhaltspunkte zur Bestimmung des Klimas werden gegeben durch tropische Verwitterungsformen in der oberen Kreide Südfrankreichs und im Eocän Nordirlands, also bis in den Bereich der marinen Borealprovinz hinein.

Auf der Südhemisphäre wird die Zeit des oberen Carbon oder unteren Perm durch ausgedehnte Inlandvereisungen bezeichnet. Obwohl dieser Kontinent durch eine kryptogene Flora bewohnt war, die nach auftretenden Jahresringen wenigstens in den südlichsten Breiten wahrscheinlich jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzt war, darf diese (Glossopteris-)Flora doch nicht als die eines kühlen oder glacialen Klimas bezeichnet werden, schon weil sie den tropisch-warmen Gürtel der Tethys überschreiten konnte.

Das Klima der Erde, wenigstens das eines um den atlantischen Ozean gruppierten Teiles, scheint hiernach eine Art von weitgespanntem Zyklus beschrieben zu haben, beginnend im Algonkian und Cambrium mit polaren Vereisungen und gemäßigtem Klima in den mittleren Breiten und ebenso im Quartär schließend, dazwischen mit einer Erwärmung, die im Devon ihren Höhepunkt erreichte und seit Beginn der Kreidezeit langsam und schrittweise entschwand. Jedoch ist diesem Anschein kein Wert beizumessen, auch fügt die klimatische Geschichte der Südhemisphäre sich diesem Bild nicht ein. Nur eines ergibt sich mit Bestimmtheit: daß die klimatische Geschichte der Erde zwei verschiedenartige Gruppen von Problemen enthält. Erstens bestanden marin-klimatische Zustände, die jetzt auf die Tropen beschränkt sind, lange Zeiten hindurch in mittleren Breiten, zweitens gab es epikontinentale Klimazustände, die heute der Tropen- und Subtropenzone angehören, früher in polaren und mittleren Breiten und umgekehrt jetzt polare Klimabeschaffenheiten in der Vorgeschichte der Aequatorialgegenden. Es ist leicht zu ersehen, daß diese Problemgruppen sich Lösungsversuchen gegenüber verschieden verhalten.

4. Paläoklimatische Theorien. Als erster Grundsatz bei der Behandlung paläoklimatischer Probleme ist hinzustellen, daß Abstufungen, wie sie jetzt zwischen den verschiedenen Breitenlagen existieren, der Anlage nach zu allen Zeiten vorhanden gewesen sein müssen, und daß, wenn sie nachweislich verwischt waren, zuerst Umschau zu halten ist, wieweit die jetzt das Klima lokal ausgestaltenden Faktoren, Meeresströme und geographische Konfiguration, diese Wirkung hervorgebracht haben könnten. Zu solchen meteorologischen Rekonstruktionen weiteren Maßstabes gibt jedoch weder die heutige Meteorologie noch die Paläogeographie ausreichende Unterlagen. Die bestbekannten Fälle, die Zustände in den Meeren des oberen Jura, der Kreide und des Eocän in Frankreich werden verständlich, wenn man nach der schon von Wallace in Islands Life aufgestellten Theorie den indischen Ozean als ein großes Wärmereservoir auffaßt, das durch Meeresströme in der Tethys seinen Einfluß bis nach Westeuropa ausdehnte. Diese Vorstellung läßt Verallgemeinerung zu und so dürfte die Breite der tropischen Zone in den Meeren des Obercarbon und Mesozoicum zu weiteren Erklärungsversuchen keinen Anlaß geben.

Zur Erklärung des Landklimas reicht aber diese Theorie nicht aus: die klimatischen Verhältnisse des devonischen nordatlantischen Kontinents bleiben völlig unverständlich, solange man mit den Faktoren des heutigen Klimas allein arbeiten will, ebenso sämtlich die der Polarfloren, da für sie teils ein feuchtes, teils ein unter marinem Einfluß stehendes Klima angenommen werden muß.

Auch der Gegensatz, die Ursachen der

Digitized by Google

Eiszeit in gemäßigten Breiten, ist, wie an anderer Stelle dargelegt, ein ungelöstes Problem. Die permocarbonische Eiszeit ist wegen unzureichender paläogeographischer Grundlagen einer kausalen Betrachtung überhaupt noch unzugänglich (vgl. den Artikel „Eiszeiten").

Man hat nach hypothetischen Faktoren gesucht, die allgemeine Erhöhungen oder Herabsetzungen der Temperatur bewirken könnten, jedoch hat sich auf diesem Wege noch kein Erfolg gezeigt, da jede der bisher aufgestellten Theorien schweren Einwendungen methodologischer oder sachlicher Art ausgesetzt ist, und keine ein paläoklimatisches Problem zu lösen weiß, ohne irgendeine Tatsachengruppe oder berechtigte Betrachtungsweise ungebührlich in den Hintergrund zu drücken. Es wäre unmöglich, in dem hier gesteckten Rahmen auf die zahllos aufgeschossenen Hypothesen oder auf eine Auswahl einzugehen.

Zu den großen, weithin sichtbaren Problemen der Paläoklimatologie ist also noch kein vertrauenswürdiger Zugang geschaffen. Verständlich sind bisher nur Einzelheiten, von denen aber nicht feststeht, wieweit ihre Bedeutung für die Gesamtfragen reicht. Das einzige bisher Erkennbare sind die der Forschung zunächst gestellten Aufgaben, nämlich hauptsächlich eine Prüfung der klimatischen Kriterien, die unter anderem zu fragen hätte, ob wirklich allein lateritische Verwitterung an der Rotfärbung so mancher Gesteine schuld ist, ob die Ausnahmefälle, in denen Laterit auch in kühlem Klima entsteht, wirklich keine verallgemeinernde Anwendung gestatten, und derartiges mehr. Weiter ist es notwendig, zunächst über die Ursachen der zeitlich nächstliegenden Klimaschwankungen, der quartären Eiszeit und Nacheiszeit, wirkliche Klarheit zu schaffen, denn solange das leichtest angreifbare und Bestbekannte unüberwindlichen Widerstand leistet, solange ist alle Mühe verloren, die Fernerliegendem und weniger genau Bekanntem gewidmet wird.

Klimatische Postulate, bei denen die Frage ungenügend beantwortet ist oder ganz offen bleibt, welche Naturkräfte den geforderten Zustand bewirkt haben sollten, fördern die Erkenntnis in nichts, denn die Paläoklimatologie ist ein Grenzgebiet, und muß deshalb ihre Lehren, wenn sie gelten sollen, sowohl mit den geologisch-geographischen als mit den klimatologisch-meteorologischen Beobachtungen in festen Anschluß bringen.

Literatur. ***E. Haug***, *Traité de Géologie. Tome II, 1908 bis 1911.* — ***W. R. Eckardt***, *Das Klimaproblem der geologischen Vergangenheit. Braunschweig 1909.* — ***M. Semper***, *Das Klimaproblem der Vorzeit (Sammelreferat). Geologische Rundschau I, 1910.* — *Compte rendu des X. internationalen Geologenkongresses. Mexiko 1906.* — ***Die Klimaveränderungen in Deutschland seit der letzten Eiszeit.*** *Herausgegeben von der Deutschen Geologischen Gesellschaft Berlin 1910.* — ***Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit.*** *Eine Sammlung von Berichten, herausgegeben von dem Exekutivkomitee des XI. internationalen Geologenkongresses. Stockholm 1910.*

M. Semper.

Paläolithikum

d. h. älteres Steinzeitalter ist die älteste, in die Diluvialzeit fallende Zeit des Menschendaseins im Gegensatz zum Neolithikum, der Neuzeit (vgl. den Artikel „Quartärformation").

Paläontologie.

1. Definition und Inhalt. 2. Historische Entwickelung. 3. Paläontologie, Biologie, Geologie. 4. Paläontologie und Phylogenie.

1. Definition und Inhalt der Paläontologie. Die Paläontologie[1]) — wörtlich: die Wissenschaft von den alten Lebewesen — verfolgt als ihr Ziel die Geschichte des Lebens auf der Erde.

Das Forschungs- und Urkundenmaterial liefern ihr die in den Schichtgesteinen der Erdrinde erhaltenen versteinerten, „fossilen"[2]) Reste von Tieren und Pflanzen. Durch vergleichende morphologische Untersuchung stellt sie die Formbeziehungen der fossilen Reste zu den heutigen Lebewesen und untereinander fest. Aus den morphologischen Charakteren und der Art des geologischen Vorkommens erkundet sie die Lebensweise der vorzeitlichen Wesen, deren Beziehungen zur Umwelt und sucht, Wege und Ursachen der im Laufe der geologischen Zeiten vor sich gegangenen Umprägungen der Lebensformen zu ergründen. Morphologische Charaktere und Beziehungen, Art und Ort des geologischen Vorkommens, zeitliches Aufeinanderfolgen der fossilen und lebenden Formen führen zur Konstruktion phyletischer Verbindungen zwischen den Lebewesen des Ehemals und des Jetzt. Biologie und historische Geologie miteinander verbindend, in beiden wurzelnd und beiden gebend, wird die Paläontologie zur Geschichte des Lebens.

Hier ist im übrigen nur auf „Paläozoologie" Bezug genommen; vgl. für fossile Pflanzen den Artikel „Paläobotanik".

2. Historische Entwickelung der Paläontologie. Bis weit ins 18. Jahrhundert währte es, ehe die Erkenntnis sich Geltung schaffte, daß die Versteinerungen keine „Naturspiele", sondern wirkliche Reste von Tieren und Pflanzen

[1]) Fischer v. Waldheim und Ducrotoy de Blainville gebrauchten wohl zuerst (1834) diesen Ausdruck.

[2]) Vgl. den Artikel „Fossilien" (Fossilisationsprozesse).

Digitized by Google

der Vorzeit sind, daß sie nicht als Zeugen einer Sintflutkatastrophe zu uns sprechen, sondern als die Ueberbleibsel langer Geschlechterreihen der Vergangenheit.

Erst um die Wende zum 19. Jahrhundert war der Boden vorbereitet für die exakte Behandlung der Fossilien. Georges Cuvier stellte die Beschäftigung mit Versteinerungen auf wissenschaftliche Basis; er schuf die Wissenschaft Paläontologie. Auf der hohen Karlsschule zu Stuttgart hatte Cuvier durch K. H. Kielmeyer, den eigentlichen Begründer der vergleichenden Anatomie, die Anregungen und Grundlagen erhalten, welche ihn befähigten, fossile Skelettreste wieder zu Wesen erstehen zu lassen. Klassisch geworden sind Cuviers „Recherches sur les ossements fossiles" (1798, 1812), die erste Grundlage wissenschaftlicher Paläontologie. Die im Pariser Tertiär gefundenen Skelette von Wirbeltieren, außerdem eine große Zahl von Resten aus anderen Gebieten werden dort beschrieben und in exaktem Vergleich mit dem Skelettbau lebender Formen genau bestimmt. Cuvier erkennt in den Skeletteilen Abhängigkeiten untereinander und stellt das für die richtige Auffassung von fragmentären Funden so wichtige, wenn auch heute nicht mehr in Cuvierscher Schärfe geltende Gesetz von der „Korrelation der Organe" auf. Mit Sicherheit wird der Nachweis geführt, daß die versteinerten Skelette des †Palaeotherium, †Anoplotherium, †Dichobune, †Adabis u. a. m. ausgestorbenen Arten und Gattungen angehören, daß die Suche nach lebenden „Originalen" der Fossilien, die man in undurchforschten Erdräumen erhalten glaubte, erfolglos sein muß. Wie vor ihm schon der Engländer William Smith so erkennt Cuvier, daß die aufeinander lagernden Schichten der Erdrinde je besondere Fossilvergesellschaftungen bergen, daß zahlreiche Faunen und Floren einander im Lauf der geologischen Zeiten ablösten. Und weiter sieht Cuvier, daß die Organisationshöhe der Tierformen im allgemeinen um so mehr steigt, je mehr die vorweltlichen Faunen sich dem Jetzt nähern. Cuviers Einfluß auf die Paläontologie war aber kein unbedingt fördernder. Ihm waren die lebenden wie die fossilen Arten fest umgrenzte, unveränderliche Typen im Sinne des Linnéschen Artbegriffes. Zwischen lebenden und fossilen Arten schlang sich ihm kein anderes Band als das morphologischer Aehnlichkeiten. Zwar zeigten ihm die nacheinander folgenden Faunen eine Vervollkommnung von der älteren zur jüngeren, aber untereinander standen sie für Cuvier ohne organische Verbindung. Immer wiederholte Erdrevolutionen, Katastrophen, löschten das Leben auf der Erde aus; neues, anderes trat an die Stelle des vernichteten. Zwar vermied Cuvier es, in seinem „Discours sur les revolutions de la surface du globe terrestre" (1812) direkt immer neue „Schöpfungen" als die Quellen der geologisch aufeinanderfolgenden Faunen der Vorzeit zu erklären. Er sprach selbst davon, daß bei den lebenvernichtenden Katastrophen irgendwo ein andersgearteter Rest einer vorweltlichen Fauna hätte erhalten bleiben und wandernd die Wohngebiete der durch Katastrophen getöteten Lebewelten hätte einnehmen können. Aber solcher Gedanke zwänge zu der Konsequenz, daß die heutige Lebewelt in ihren Formen seit dem Anfang des Lebens persistierend sei, während neben ihr andere Lebensgemeinschaften immer wieder ausgelöscht worden wären. Ein Unding! Der Sinn der im wesentlichsten auf die geologischen und paläontologischen Verhältnisse des Pariser Beckens gegründeten Lehren Cuviers findet seinen folgerichtigen Ausdruck in der Annahme immer wiederholter Schöpfungen und vollständiger Vernichtungen des Lebens. A. d'Orbigny und L. Agassiz zogen diese Konsequenz.

Der Kampf J. B. de Lamarcks und E. Geoffroy St. Hilaires gegen die Unwandelbarkeit der Arten und gegen die Kataklysmentheorie endigt mit dem Siege Cuviers. Ungehört verhallen die Einwürfe von Bronn, Quenstedt und anderen; und die Paläontologie zieht keinen Gewinn aus K. A. v. Hoffs und Ch. Lyells erfolgreicher Bekämpfung der Katastrophenlehre auf geologischem Gebiet. Die in Deutschland, England und Frankreich mit größtem Eifer gepflegte Paläontologie sieht ihr wesentlichstes Ziel in exakten Beschreibungen der in größter Zahl zutage geförderten Versteinerungen und in ihrer Einreihung in die Systeme der lebenden Tiere und Pflanzen. Die morphologisch-systematische Richtung herrscht (Bronn, Goldfuß, Graf zu Münster, Quenstedt, v. Schlotheim, A. d'Orbigny, de Blainville, J. Barrande, Th. Davidson, J. Sowerby u. v. a.).

Gleichzeitig schreitet die geologische Durchforschung der Länder vor, und die Paläontologie tritt in engste Beziehungen zur Geologie. Was M. Lister (1671) wohl ahnte, sprach William Smith (1795, 1799) als erster aus: Jeder Schicht der Erdrinde ist eine bestimmte fossile Fauna eigen. Er erkannte in den Juragesteinen Englands zuerst die historisch-geologische Bedeutung der Versteinerungen als Leitfossilien. Neben der morphologisch-systematischen erringt sich die historisch-geologische Erforschung der Fossilien ihren Platz. Fossile Faunen und Floren werden studiert, um in zum Teil statistischer Arbeit die Zeitenskala der Geologie auszubauen und zu präzisieren. Murchisons „Siluria" (1859), Quenstedts „Jura" (1856 bis 1858), Oppels „Juraformation" (1856 bis 1858), d'Orbignys „Prodrome de Paléontologie stratigraphique" (1850), J. Halls „Palaeontology of New York" (1847 bis 1894) seien als Belege dieser Arbeitsrichtung genannt.

1859 bricht Charles Darwins „Entstehung der Arten" die Herrschaft Linné-Cuvierscher Anschauungen in der Biologie. Die Paläontologie — berufen die historischen Dokumente zur Abstammungslehre zu liefern — tritt zuerst nur zögernd in die Arena. In den Milliarden von Individuen des Planorbis †multiformis, welche in dem obermiocänen Süßwasserkalk von Steinheim aufgehäuft sind, versucht Hilgendorf (1866) die zeitlich nacheinanderfolgenden Abänderungen zu einem Stammesbild zu ordnen. 1869 verknüpften W. Waagen und K. A. Zittel morphologisch nahestehende und zeitlich einander ablösende Ammonitenarten zu den „Formenreihen" des †Amm. subradiatus und des †Phylloceras ptychoicum, und ersterer präzisierte die Variationen und Mutationen der Arten. M. Neumayr konnte (1876) ausgezeichnete Formenreihen mit geringfügigsten Abänderungen der aufeinander

Digitized by Google

folgenden Glieder bei den Paludinen des westslavonischen Tertiär feststellen. Die phyletische Betrachtungsweise der Fossilien hat ihren Einzug in die Paläontologie gehalten.

Und nun tritt die überwiegende Mehrzahl der Paläontologen als überzeugte Anhänger für die Deszendenzlehre in die Schranken. Die Umbildungen der Arten im Lauf der geologischen Zeiten werden verfolgt. In allen Tiergruppen werden Anhaltspunkte gefunden für die Aufstellung von Formenreihen und Stammbäumen und Stützen für Haeckels „biogenetisches Grundgesetz". Die Paläontologie steht in den letzten Dekaden des 19. Jahrhunderts ganz im Zeichen phyletischer Forschungen. M. Neumayrs unvollendet gebliebene „Stämme des Tierreichs" (1889) sind das geistvollste Zeugnis für die gegenseitige Befruchtung, welche Paläontologie und Biologie durch den Deszendenzgedanken erfahren haben. Und K. A. Zittels „Handbuch der Paläontologie" (1876 bis 1893) ist das Riesenwerk, in dem der Geist des unvergleichlichen Meisters alles geordnet und gesichtet hat, was gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die Paläontologie an Urkunden und gut gegründeter Deutung zur Stammesgeschichte der Tierwelt geleistet hat.

1873 bis 1877 veröffentlichte W. Kowalewsky seine meisterlichen Untersuchungen über fossile Huftiere. Die versteinerten Skelette werden nicht mehr nur einfach beschrieben und mit denen lebender Formen verglichen. Jeder Knochen, jedes Gelenk und jeder Zahn wird auf seine Funktion untersucht. Das tote Skelett wird wieder zum lebenden Tier. Die Beziehungen zwischen Organismus und Umwelt, die Umformungen durch Anpassung an Umgebung und Nahrung springen lebendig hervor. Die Fragen nach den Ursachen des Aufblühens, der Verbreitung und des Niedergangs der Tiergruppen werden diskutiert.

Cope, Osborn, Scott, Williston, Dollo, Abel und zahlreiche andere Forscher gehen Kowalewskys Weg weiter. Die großen Entdeckungen fossiler Wirbeltiere im Westen der Union, in Argentinien und Patagonien, in Südafrika geben immer neuen Anstoß zur Untersuchung der Umprägungen der Formen und ihrer einzelnen Organe durch Anpassung an die Umwelt.

An Stelle der morphologischen und systematisch-phyletischen Paläontologie tritt heute die morphogenetische oder ethologische mehr in den Vordergrund.

3. Paläontologie, Biologie und Geologie. Die Natur der Versteinerungen als Resten von Lebewesen bringt es als selbstverständlich mit sich, daß die Paläontologie in den innigsten Beziehungen zur Zoologie und Botanik steht. Als Paläozoologie und -botanik ergründet sie durch Vergleich mit Lebendem die Morphologie und Anatomie der fossilen Formen, rekonstruiert das Tier, die Pflanze der Vergangenheit und reiht sie, soweit wie möglich, den Systemen der lebenden Formen ein. In weitestem Maß hat die Paläontologie das systematische Material in vielen Klassen und Ordnungen der Tiere und Pflanzen vermehrt; übertrifft doch das fossile Material z. B. von Foraminiferen, Echinodermen, Korallen, Brachiopoden, Cephalopoden, Reptilien, Säugetieren das lebend bekannte um sehr vieles. Ohne Kenntnis dieses fossilen Materials wäre in vielen Stämmen eine natürliche Systematik undurchführbar und selbstverständlich die Verfolgung der Stammesgeschichte unmöglich. Durch die Paläontologie ist die vergleichende Osteologie ganz wesentlich gefördert worden; und die Erkenntnis der Anpassungserscheinungen durch Anpassungsvorgänge beruht zum großen Teil auf den Forschungsergebnissen der Paläontologie.

Ebenso innig sind die Beziehungen zwischen Paläontologie und Geologie. Die Versteinerungen liefern in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge die Grundlagen, nach welchen die Zeitabschnitte der „historischen Geologie" — die Aeren, Formationen, Stufen, Zonen — unterschieden werden können. Sie ermöglichen z. T. als Leitfossilien die Feststellung des relativen Alters einer Schicht und gestatten den stratigraphischen Vergleich zeitlich oder örtlich getrennter Schichtgesteine. Damit erschöpft sich aber keineswegs die Wechselbeziehung zwischen Paläontologie und historischer Geologie. Zusammen mit den Gesteinen, in die sie eingebettet sind, ermöglichen die Versteinerungen es — nach Analogieschlüssen aus der Jetztzeit — die physikalischen und chemischen Verhältnisse zu ermitteln, welche an einem Orte während eines bestimmten Zeitabschnittes der Erdgeschichte herrschten. Sie helfen den „Faciescharakter" einer Ablagerung festzustellen, d. h. zu bestimmen, ob ein Gestein auf der Landfeste oder im Meere entstand, ob es nahe der Küste oder im offenen Ozean, in den bewegten Fluten einer Flachsee oder in den stillen, lichtlosen Tiefen des Weltmeers gebildet wurde. Die in ihrer Zusammensetzung natürlich ungemein wechselnden fossilen Faunen sind aber weiter Biocönesen der Vergangenheit. Sie waren in ihrer Zusammensetzung ebenso wie die Lebensgemeinschaften der Jetztzeit von bestimmten physikalischen und chemischen Bedingungen abhängig. Und in diesen alten Biocönesen waren deren einzelne Komponenten genau so untereinander abhängig, wie das bei den einzelnen Gliedern neuer Lebensgemeinschaften heute der Fall ist. Gestein und Ortsgenossen geben zusammen das Bild des Milieus, der Umwelt einer Vergangenheit, der Umwelt, welche die Zusammensetzung der Biocönesen regelt und — zur Anpassung zwingend — die Formen des Lebens und

Digitized by Google

die Umprägung der Formen bestimmt. Auch die Paläogeographie, die Rekonstruktion der physikalischen Verhältnisse des Erdballes in den verschiedenen Abschnitten der Vergangenheit — zum guten Teil auf die geographische Verbreitung fossiler Faunen gegründet —, gibt der Paläontologie: sie lehrt Wanderungen, geographische Verbindungen und Isolierungen vorzeitlicher Organismen kennen und die hierdurch hervorgerufenen Abänderungen der Formen.

4. **Paläontologie und Phylogenie.**[1]) In zeitlicher Aufeinanderfolge enthalten die Schichtgesteine der Erdrinde die Dokumente zur Geschichte des Lebens. Aber die Dokumente sind vielfach verstümmelt: Schalen und Schalenfragmente, isolierte und häufig genug zerbrochene Knochen und Zähne. Die Ueberlieferung ist lückenhaft.

Große Teile des Erdballs, durch die Fluten der Meere bedeckt, sind der Durchforschung nach Spuren alten Lebens entzogen. Kein Teil der Festländer enthält eine lückenlose Aufeinanderfolge der im Laufe der Zeiten gebildeten Gesteine. Landzeiten mit ihren Erscheinungen subaerischer Gesteinszerstörungen, Transgressionen der Meere über alte Länder haben die Urkundensammlungen vielfach zerstört. Mit verschwindend wenigen Ausnahmen sind nur Reste solcher Lebewesen erhalten, deren Körper widerstandsfähigere Hartgebilde besaß. Von dem, was auf den Landfesten der Erde lebte und starb, konnte nur das fossil erhalten werden, was — schnell in werdendes Gestein eingebettet — der Vernichtung durch organische oder anorganische Kräfte entzogen wurde. Auch Reste wasserbewohnender Organismen können im allgemeinen nur fossilisiert werden, wenn sie durch schnelle Einbettung vor mechanischer oder chemischer Zerstörung bewahrt bleiben. Es kann also nur lückenhaftes Material zur Geschichte des Lebens überliefert sein. M. Neumayr versuchte (1878) zahlenmäßig das Verhältnis zwischen dem Leben und dem fossil Ueberlieferten einer Zeit, der Juraformation, abzuleiten: noch nicht 3% der jurassischen Arten können wir nach ihm fossil erhalten zu finden hoffen. Mag auch von manchen Arten und Gruppen in den paläontologischen Sammlungen ein riesiges Material aufgehäuft sein — Reste vieler Hunderte von Skeletten des Höhlenbären, des Delphins †Eurinodelphis, des Flugreptils †Pteranodon —, für das ganze Leben der Vorzeit bleibt die Lückenhaftigkeit des überlieferten Materials bestehen. Jeder neue Fund beweist sie eigentlich. Deutlich spricht von ihr das einzig gebliebene Skelett des oberjurassischen Dinosauriers †Compsognathus, die 2 einzigen Skelette des Vogels †Archaeopteryx, die vielen Arten und Gattungen, welche nur auf Unika, oft auf Fragmente von Knochen, auf einzelne Zähne gegründet wurden. Von manchen Ordnungen und Klassen, z. B. von den Arachnoideen, Myriapoden, Phyllopoden, Syncariden, Schizopoden, den Amphibien, Eidechsen, Vögeln ist das fossile Material bei weitem zu unvollkommen und in der Tat zu lückenhaft, um deren Geschichte klar entziffern zu lassen; von anderen fehlt jede Ueberlieferung durch Fossilien.

[1]) Vgl. dazu den Artikel „Deszendenzlehre".

Trotz des Stückwerks des Ueberlieferten ist es doch möglich, mit Hilfe des fossilen Materials wenigstens manche Leitlinien für das Endziel der Paläontologie, für die Stammesgeschichte der Lebewesen, zu ziehen.

Ueber Art, Zeit und Ort des ersten Lebens auf der Erde vermag die Paläontologie keine Auskunft zu geben. Die Kalke archäischer Ablagerungen, das dubiöse †Corycium aenigmatum Sederh. aus der bottnischen Stufe Finnlands können als Beweise für die Existenz und Wirkung urältesten Lebens angesprochen werden; sie erläutern aber nichts weiter. Radiolarien in Kieselschiefern der Bretagne, Kohlen in der jatulischen Stufe am Onega-See, Spuren von Würmern, Körper von hydrozoen- und korallenähnlicher Struktur, Reste von Arthropoden (?Gigantostraken) in Nordamerika ist das wenige, was aus algonkischer (präkambrischer) Zeit von Spuren des Lebens erhalten ist. In überraschendstem Reichtum tritt uns das Leben unterkambrischer Zeit entgegen: Foraminiferen, Coelenteraten, Poriferen, Echinodermen, Würmer, Brachiopoden, Mollusken, Crustaceen; alle Stämme der Wirbellosen sind vertreten und in den einzelnen Stämmen stehen die Repräsentanten verschiedenster Differenzierungsrichtung nebeneinander. Wie mit einem Schlage hochentfaltet steht das Leben da: Mit den aus den Gebieten heutiger Ozeane transgredierenden unterkambrischen Meeren wanderte die Fauna, welche als älteste reichhaltige gegenüber der Vorzeit unvermittelt dasteht, über die Ränder uralter eurasiatischer und nordamerikanischer Kontinentalmassen. Von Formation zu Formation ändert sich das Lebensbild. In den bestehenden Tierstämmen greift vielfältigste Differenzierung Platz. Neues tritt hinzu. Im Obersilur erscheinen die ersten Spuren luftatmender Landbewohner (Skorpione, Myriapoden, ?Insekten) und der Fische. Im Oberdevon wurden Fährten und im Oberkarbon die ersten Skelette von Vierfüßlern gefunden: die amphibienähnlichen †Stegocephalen und die ersten Reptilien (†Cotylosaurier). Im Perm begegnet uns das erste echte Amphibium (†Lysorophus). Aus der Obertrias wurden die ersten Reste von Säugern (†Dromatherium, †Microconodon, †Microlestes, †Triglyphus, †Theriodesmus, †Tritylodon) bekannt und aus dem oberen Jura der erste Vogel (†Archaeopteryx). Neben Vervielfältigung des Bestehenden und Addition von Neuem zeigt aber die Folge

Digitized by Google

der Faunen auch das Abtreten zahlreicher Tiertypen von der Schaubühne des Lebens: die †Graptolithen, †Cystoideen, †Blastoideen, die †Trilobiten, †Gigantostraken, †Placodermen, die †Stegocephalen, die meisten Ordnungen der Reptilien, zahlreiche Säugertypen und eine große Menge von Familien und Gattungen verschiedenster Stämme sind erloschen, ausgestorben. Ihr Platz wurde von anderen eingenommen.

Die verhältnismäßig nur ganz geringfügigen Abänderungen in den Faunen der aufeinander folgenden geologischen Zonen und Stufen — an Orten ähnlich bleibender facieller Verhältnisse — drängen zu dem Schluß, daß die Verknüpfung zeitlich aufeinander folgender Arten dieselbe war, welche heute Generation mit Generation verbindet: die Verknüpfung durch Abstammung. Wahrscheinlichkeitsbeweise wenigstens hat die Paläontologie hierfür liefern können. Die deskriptiven Arten, welche die Paläontologie unterscheidet, lassen sich in einer ganzen Anzahl von Fällen zu engen „Formenreihen" verbinden. Morphologisch nächststehende Formen, welche nur durch geringste Abänderungen sich unterscheiden und zeitlich unmittelbar einander folgen, außerdem miteinander in nachweisbar enger geographischer Verbindung stehen, müssen mit größter Wahrscheinlichkeit als Glieder einer genetischen Reihe aufgefaßt werden. Form, Zeit und Ort, also das morphologische, historische und geologisch-bionomische Moment, helfen zur stammesgeschichtlichen Verknüpfung der Arten. Bei fossilen Schnecken, Muscheln, Ammoniten, †Trilobiten, bei Amphibien, Huftieren, Sirenen, Elephantiden sind durch Neumayr, Waagen, Zittel, Depéret, Abel u. a. „Formenreihen" festgestellt. Aber die paläontologische Formenreihen sind meist nur kurz, nur über geringe Zeiträume, wenige Zonen oder höchstens Stufen, zu verfolgen. Sehr viele Formenreihen, welche aufgestellt wurden, sind keine geschlossenen, sondern intermittierende. Ihre einzelnen Glieder sind durch Zeitlücken getrennt, und diese werden spekulativ überbrückt. Die Verknüpfung von Formenreihen zu längeren Stammlinien und zu verästelten Stammbäumen ist meistens nur durch spekulative Ueberbrückung zeitlicher und morphologischer Lücken möglich. Nur selten sind wirklich eindeutig vermittelnde Bindeglieder zwischen Formenreihen, Gattungen, Familien erhalten. Namentlich fehlen zwischen größeren systematischen Einheiten die viel gesuchten und durch die phylogenetischen Spekulationen der Haeckelschen Schule geforderten Bindeformen und „Kollektiv"- oder „Mischtypen". Nicht nur stehen die großen Stämme der Evertebraten bei ihrem ersten nachgewiesenen Auftreten vollkommen getrennt nebeneinander, sondern auch, was später dazu addiert wird, steht unvermittelt neben den alten Stämmen. Unvermittelt treten die Amphineuren zu den übrigen Mollusken, die Skorpione, Myriapoden, Insekten zu den übrigen Arthropoden. Keine Mittelform zwischen den Fischen und etwa den †Trilobiten ist bekannt, kein Uebergang von den Fischen zu den †Stegocephalen. Und in diesen ist die Amphibien und Reptilien verbindende Mittel- oder Mischform noch nicht gefunden. Unvermittelt stehen die Froschlurche, die Schildkröten und verschiedene andere Tiergruppen plötzlich da. Die vielberufene †Archaeopteryx steht nicht als Mittelform in der Ahnenreihe von den Reptilien zu den bekannt gewordenen Vögeln. Vergeblich suchen wir auch nach indifferenten Mischtypen, die die Wurzeln mehrerer großer Stammlinien wären.

Das Resultat könnte ausgelegt werden, als spräche die Paläontologie gegen die Richtigkeit der Deszendenzlehre. Der Schluß wäre falsch. In der schon betonten großen Aehnlichkeit der eng aufeinander folgenden fossilen Faunen, in den von der Paläontologie festgestellten Formenreihen, liegt so viel Bestätigung des Deszendenzgedankens, daß die Paläontologie gezwungen ist, die Verknüpfung auch der Wesen der Vorzeit durch Abstammung als gesichert und einzig vernünftig anzusehen. Daß die Paläontologie uns keine lückenlose, ununterbrochene Stammesgeschichte der einzelnen systematischen Kategorien zu liefern imstande ist, liegt zum Teil zweifellos an den betonten Lücken in der Ueberlieferung. Manches „unvermittelte" erste Auftreten eines neuen Typus kommt sicher auf Rechnung „lückenhafter" Ueberlieferung. Die Anfangsentwickelung des Fischstammes vollzog sich wohl sicher auf vorsilurischen Landmassen (Koken, Simroth), die der †Stegocephalen auf vordevonischen, der Schildkröten auf alt- oder vortriadischen Ländern, von deren Sedimenten uns keine Kunde geworden ist. Zum Teil fehlt uns wohl noch die sichere volle Erkenntnis, um den Gang der Entwickelung des Lebens ganz zu verfolgen.

In mehreren Fällen vermochte die Paläontologie auch die Richtigkeit des Leitgedankens des Müller-Haeckelschen „biogenetischen Grundgesetzes" zu bestätigen und zugleich dieses mit für die organische Verknüpfung der Wesen zu benutzen. In der Ontogenie der †Ammoniten z. B. kann nach den Untersuchungen von Branco, Hyatt, J. P. Smith in gröbsten Zügen die Stammesgeschichte wiedererkannt werden. Die Ontogenie der Brachiopodenschalen und -armgerüste konnte Ch. Beecher in gewisse Parallelen mit der Stammesgeschichte bringen, ebenso ließen sich Bernards und R. T. Jacksons Untersuchungen über die Ontogenie der Lamellibranchiaten paläontologisch stützen. Auch die Schlüsse, welche aus den embryonalen Zahnanlagen bei Bartenwalen,

Digitized by Google

aus der embryonalen Entwickelung des Cameliden-fußes u. a. m. gezogen wurden, ließen sich paläontologisch, stammesgeschichtlich bestätigen.

Gestattet das fossile Material auch nicht lückenlose Verfolgung der Stammesgeschichte, so lehrt es doch eine Menge wichtiger, die Entfaltung des Lebens beherrschender Regeln kennen.

Cuvier, Naegeli, Zittel sahen in der Gesamtheit des Lebens „Vervollkommnung" herrschen und um so mehr ausgeprägt, je mehr die Lebewelten sich der Jetztzeit nähern. Jedenfalls hat keine allgemeine Vervollkommnung stattgefunden. Bei den Radiolarien ist seit dem Algonkium, bei der Foraminifere Globigerina seit dem Unterkambrium keine wesentliche Formänderung, keine Vervollkommnung zu erkennen. Lingula, der Rhynchonellentypus, Nucula, mehrere Ostrakodengattungen existieren unverändert seit dem Silur, Estheria seit dem Devon, Pentacrinus, Nautilus seit der Trias, viele Gattungen von Muscheln und Schnecken, Notidanus unter den Haien u. v. a. m. überdauern lange Formationsreihen ohne wesentliche Formänderung, also ohne weitere Vervollkommnung. Und bei den anderen Typen wirklich Vervollkommnung? Vielfältige Differenzierung, in verschieden schnellen Schritten sich abspielende Umformung ist zu erkennen, Komplizierung der Organismen, die aber keineswegs einschränkungslos Vervollkommnung ist. Häufig Vervollkommnung einzelner Organe ohne gleichzeitige Vervollkommnung des Gesamtorganismus. Einer allgemeinen Regel der Vervollkommnung würde ja auch das viel beobachtete Aussterben von Arten, Gattungen, Stämmen widersprechen.

Die Umprägungen der Formen vollziehen sich nach Ausweis durch das Fossilmaterial bei verschiedenen Gruppen in ganz verschiedenen Schritten. Neben lange unverändert gebliebenen konservativsten „Dauertypen" (s. oben) stehen zahlreiche andere, deren Arten und Gattungen schnell abändern. Als Regel gilt im allgemeinen: Einfacher organisierte Formen ändern langsam ab; in mehr differenzierten Stämmen, wie in differenzierteren Gruppen desselben Stammes vollzieht sich die Umprägung in schneller folgenden Schritten. Letzteres zeigen die vielen kurzlebigen Gattungen der Reptilien, der Säuger, aber auch vieler Evertebraten.

Die Umformungen gehen in den einzelnen Stammlinien nicht dauernd in gleichem Schritt vor sich, zum Teil spielen sie sich in allerkleinsten Schritten ab: die gleichzeitigen Variationen einer Art und die „Mutationen" (Waagen), die geringfügigen, zeitlich aufeinander folgenden Abänderungen, wie sie in geschlossenen Formenreihen zu konstatieren sind. Zum Teil haben sich die Umprägungen doch auch sprunghaft vollzogen (Dollo): die nicht durch engste Uebergangsformen verbundenen, morphologisch und zeitlich nahestehenden Gattungen und Familien vieler Stämme beweisen das. Zeiten langsamer ruhiger Entfaltung des Stammbildes wechseln mit solchen besonders schnell erscheinender Umformung, „explosiver" („anastrophischer", Joh. Walther) Entwickelung. Mit geringen Aenderungen geht die Ammonitengattung †Lytoceras durch den Jura in die Kreide, hier spalten von ihr plötzlich eine ganze Anzahl verschiedener „Nebenformen" ab. „Explosiv" erscheint die Entfaltung inartikulater Brachiopoden im Kambrium, artikulater im Silur; langsam, ruhig vollzieht sich die Brachiopodenentwickelung im Mesozoikum. Explosiv ist die Entwickelung der Nautiloideen im Silur, der †Clymenien im Devon, der Säuger im Tertiär. Aufblühen und Niedergang folgen einander. Das Zurücktreten der einen Gruppe wird durch das mächtigere Aufblühen der anderen im Lebensgang der Natur kompensiert: Die †Trilobiten gehen im Silur langsam zurück, die Cephalopoden entfalten sich mächtig; dem Rückgang der Reptilien in der jüngsten Kreide folgt das Blühen der Säuger im Tertiär, und ähnliches mehr.

Zahlreich sind die Fälle, in denen das Fossilmaterial die Wege und Ursachen von Umprägungen erkennen läßt. Jede Lebensform ist an bestimmte Lebensbedingungen, an ihr Milieu, ihre Umwelt „angepaßt". Ihre Gesamtorganisation macht sie geeignet, die Widerstände der Umwelt — physikalisch-chemischer oder organischer Natur — zu überwinden, ihre Existenzbedürfnisse zu befriedigen. Der Effekt der Anpassung ist besonders offensichtlich an Arthropoden und Wirbeltieren durch bestimmte Formen ausgedrückt: Schreit-, Lauf-, Kletter-, Flug-, Schwimmformen. Sowohl die korrelative Einheit des ganzen Körpers, als auch einzelne Organe — namentlich die Extremitäten, Kopfformen, Zähne — zeigen die Anpassung an bestimmte Lebensweise, Bewegungsart, Nahrung — also an die Umwelt. Die Paläontologie kennt nun eine Fülle von Anpassungsreihen, Umformungsreihen durch Anpassung. Bei den Vierfüßlern ist von den ältesten †Stegocephalen zu den Säugern die mehr und mehr als eigentliches Propulsionsorgan ausgebildete Hinterextremität die stärkere geworden; durch ihre stärkere Beanspruchung wurden die Beckenteile stärker, wurden miteinander immer fester verbunden und inniger an den Sakralwirbeln befestigt.

Digitized by Google

Schrittweise ist die Umwandlung der fünfzehigen plantigraden Extremität der †Condylarthren zur einzehig-unguligraden des heutigen Pferdes zu erkennen, die Umformung vom langsameren Schreittiere zum flüchtigen Läufer. Die flossenartigen Paddeln der †Ichthyosaurier wie der Wale sind durch Anpassung an reine Schwimmform aus Schreitfüßen geworden. Durch Herausbildung des Schwanzes zum Hauptpropulsionsmittel bei Schwimmtieren von Fischform verlor die Hinterextremität ihre Bedeutung: ihre schrittweise Verkümmerung bis zu weitgehender Reduktion des Beckens konnte Abel bei Sirenen ausgezeichnet feststellen. Aus gleicher Ursache wurden die hinteren Paddeln bei den †Ichthyosauriern kleiner, das Becken reduziert, bei den Walen bis auf Rudimente des Beckens und Oberschenkels reduziert. Die schrittweise Umänderung des Schädels der Elephantiden vom dolichocephalen †Moeritherium und †Paläomastodon zum brachycephalen Elephas ist ausgezeichnet erkennbar als Folge abgeänderter Art der Nahrungsaufnahme. Die Stammreihen der Pferde zeigen klar, wie unter dem Einfluß abgeänderter Nahrung und Lebensweise die niedrigkronigen Höckerzähne der Hyracotherinen zu den selenodonten der †Anchitherinen und diese zu den hypselodonten Faltenzähnen der jüngsten Pferde wurden. Die Geschichte der Wale zeigt, daß die ältesten, wohl noch mehr oder weniger amphibisch lebenden Formen noch höckerige Backenzähne vom Typ der Urraubtiere besaßen; bei den jüngeren wurden sie unter dem Einfluß des Lebens als pelagische Schwimmer und der dadurch bedingten Art der Nahrungsaufnahme zu scharf schneidenden (†Zeuglodon, †Squalodon), dann zu einfach kegelförmigen Fangzähnen (Delphine), schließlich können sie ganz reduziert werden (Bartenwale). Die Beispiele sind aus der Paläontologie in sehr großer Zahl zu vermehren und zu variieren. Sie beweisen: Aenderungen der Lebensweise, des Milieus ergeben Formänderungen; dauerndes Beharren im gleichen Milieu kann zu langwährender Formkonstanz führen: die pelagischen Radiolarien.

Der Einfluß von Umwelt und Lebensweise als formbestimmenden Faktoren wird weiter durch die sogenannten „Konvergenzformen" (Homöomorphien) bewiesen: Gleiche Gestalt bei Formen von häufig grundverschiedener Organisation. Die Anpassung als pelagische Schwimmer ans Leben im Wasser gab den †Ichthyosauriern und Walen die fast vollkommen gleiche Gestalt. Flugreptilien und Flugsäuger zeigen die gleiche Eiform des Rumpfes. Die mit einer Klappe festwachsenden Brachiopoden (†Richthofenien) und Muscheln (†Hippuriten), wie auch manche balaniden Krebse (†Palaeocreusia, Pyrgoma) bauen fast gleichgeformte Schalen. Im Jungtertiär Slavoniens fand M. Neumayr, daß die zusammen vorkommenden Schnecken und Muscheln ganz ähnliche Skulpturen erwarben; M. Semper konnte das Formgleichwerden verschiedener Brachiopodengattungen im gleichen Milieu (im Perm des Val Sosio, Sizilien) zeigen; Pompeckj bemerkte, daß verschiedene Ammonitengattungen eines Fundortes im unteren Lias von Portugal gleiche Verzierung erhalten hatten. Diese Beispiele kann die Paläontologie in Menge vermehren.

Aehnlich wie die Konvergenzformen müssen auch die Fälle „iterativer" Artbildung (Koken, Philippi) zu bewerten sein: Arten des gleichen Stammes werden formgleich, ohne voneinander abzustammen. Die Volaarten in Lias, Kreide, Tertiär, die Gryphaeen in Jura und Kreide, die Pseudomonotisarten u. a. Wie iterative Artbildung gibt es auch iterative Gattungsbildung: †Aucella im Jura, †Aucellina in der Kreide; †Palaeocreusia im Devon, Pyrgoma im Tertiär. Vielleicht sind auch die Syncariden des Karbon-Perm und Quartär, die Leptostraken des Paläozoikums und Quartär iterative Typenbildungen und nicht phyletisch direkt verbunden.

Als treibendes Agens für die Umprägung der Formen läßt das paläontologische Material deutlich die Anpassung an die Umwelt durch verschiedenen Gebrauch der Organe erkennen. Milieuänderungen (wie sie sich auch bei Migrationen und Isolierungen ergeben) zwingen zur Aenderung der Form. Für die Abänderung der Arten unter dem Einfluß der Migrationen liefert das fossile Tiermaterial sehr zahlreiche Beweise (bei †Trilobiten, †Ammoniten, Säugern usw.).

Die durch Anpassung hervorgerufene Umprägung = Entwickelung der Stämme verläuft nicht regellos. Im allgemeinen zeigen die Reihen fossiler Formen, daß eine einmal eingeschlagene Anpassungs-Entwickelungsrichtung mindestens längere Zeit (selbst an verschiedenen Orten) beibehalten wird. Dabei werden die durch Anpassung erworbenen Charaktere vererbt und weitergebildet. Diese Erscheinungen werden von vielen als „Orthogenese", als „bestimmt gerichtete Entwickelung" bezeichnet. Einfacher handelt es sich hierbei um Beharrung auf dem einmal eingeschlagenen Entwickelungswege und auf diesem Wege bedeuten die einzelnen Individuen labile Gleichgewichtszustände zwischen Beharrung und Abänderung durch Anpassung.

Die Entwickelung beharrt aber in zahllosen Fällen nicht dauernd auf demselben

Digitized by Google

Wege. Die Vierfüßler zeigen das in ihrer Geschichte deutlichst durch die Umformung von ursprünglichen Kriechtieren zu Schreit-, Lauf-, Kletter-, Flug-, Schwimmtieren. Wird die Anpassungsrichtung geändert, so bleibt doch nicht nur die Grundorganisation des Typus erhalten, sondern auch eine gewisse Menge von Organisationsdetails der früheren Anpassungsrichtung bleibt mehr oder weniger scharf erkennbar. Neue Umformungen vermögen das alte Organisationsbild nicht ganz zu verwischen. L. Dollo konnte aus dem Bau der Extremitäten beweisen, daß die als Schreit-, Lauf-, Sprungtiere lebenden Beutler von Baumkletterern (diese natürlich von Kriech-Schreittieren) abstammen. Bei der Rückkehr zum Leben auf dem Boden wurden die durch Anpassung ans Klettern erworbenen osteologischen Charaktere der Extremitäten nicht vollkommen unterdrückt; es wurde auch nicht der einfache Fuß des ursprünglichen Schreittieres zurückgewonnen. Hieraus und aus vielen Beispielen aus anderen fossilen und lebenden Tiergruppen erkannte Dollo sein „Gesetz der Nichtumkehrbarkeit der Entwickelung". Organe, welche im Laufe einer Anpassungsrichtung umgebildet, verkümmert, rudimentär geworden sind, werden bei der Rückkehr zur Lebensweise der Ausgangsformen nicht wieder in ursprünglichem Zustande zurückerobert. Dieses für die Feststellung phyletischer Verbindungen höchst wichtige „Irreversibilitätsgesetz" wird in seiner hohen Bedeutung auch nicht durch vielfach beobachtete Atavismen und Rückschläge verringert.

Die Entwickelung ist weiter auch beschränkt, sagt Dollo, so wie ja auch die Zahl der Formmöglichkeiten überhaupt beschränkt ist (Beweis: die Konvergenzformen). Am deutlichsten wird das bewiesen durch die große Zahl ausgestorbener Tiergruppen, unter denen manche eine bestimmte Art der Entwickelungsbeschränkung erkennen lassen. Die z. B. in vollkommenster Weise als Schwimmtypen ausgebildeten †Ichthyosaurier, †Mosasaurier zeigen sich als so einseitig spezialisiert, daß weitere Umformung, Anpassung an ein anderes Milieu für sie unmöglich geworden erscheint. Ihre Entwickelungsmöglichkeit wurde durch einseitige Spezialisierung eingeschränkt. Die einseitigst spezialisierten †Flugsaurier der Kreide, ferner die durch riesige Dornfortsätze der Rückenwirbel gekennzeichneten †Dimetrodon, †Naosaurus, †Ctenosaurus waren an die Grenze ihrer Anpassungs- und damit Entwickelungsfähigkeit gelangt. Auch einseitige Spezialisierung nach der Richtung der Größe beschränkt die Umformungsmöglichkeit. In vielen Stammlinien, Familien, Gattungen ist die besonders von Gaudry und Depéret betonte Regel der Größenzunahme zu erkennen. Die Anfangsformen der Pferde, der Elefanten, mehrerer Edentatenreihen, vieler Stammlinien von Reptilien, vieler Gattungen von †Ammoniten, †Trilobiten und anderer sind klein. Die Größe der Formen wächst im Laufe der Reihen, sie steigt bis zur Riesengröße, dann erlöschen die Reihen. Das ist ungemein oft zu konstatieren; von den Protozoen bis zu den Säugern wiederholt sich dieser Gang immer von neuem. Herrschte Orthogenese als bildendes Moment, dann wäre hiernach nicht Vervollkommnung, sondern Tod durch Riesenwachstum das Ziel.

Aber nicht in allen Fällen geht einseitige Spezialisierung, Riesenwachstum dem Erlöschen, dem Aussterben der Arten und Stämme voraus. Viele verschwinden ohne solche Anzeichen (†Graptolithen, †Cystoideen, †Blastoideen, die meisten †Trilobiten, zahlreiche Brachiopoden, †Ammoniten u. a. m.). Wirkt einseitige Spezialisierung auch als Einschränkung der Entwickelungsmöglichkeiten, so ist sie doch keineswegs in allen Fällen als Ursache des Artentodes voll verständlich. Es ist z. B. nicht klar ersichtlich, warum die vorzüglich ans Wasserleben angepaßten †Ichthyosaurier und †Mosasaurier ausstarben. Auch Riesengröße ist als Grund des Aussterbens nicht einschränkungslos verständlich; sie währt bei vielen Typen durch lange Reihen von Generationen.

Das Aussterben vieler Gruppen bleibt ganz unerklärt. Die auffallende Erscheinung, daß gegen Ende der Kreidezeit die †Inoceramen und †Rudisten, die †Nerineen, die letzten †Ammoniten, die †Ichthyo-, †Mosa-, †Plesiosaurier, die †Dinosaurier und †Flugreptilien verschwunden sind, legt den Gedanken an eine allgemeiner wirkende Ursache nahe. Aber welche Ursache sollte auf den Ländern und in den Meeren weltweit gleichwirkend vieles Leben ausgelöscht haben, während das meiste fortbestand? Weder geologische noch klimatische Ursachen mit solcher Wirkung sind erkennbar. Katastrophale Ereignisse, Epidemien, klimatische Aenderungen können den Bestand des Lebens gefährden, aber doch nur dann, wenn geographische Isolierung des Lebens stattgefunden hat. Der Konkurrenzkampf um Nahrung kann als wirksam gedacht werden (z. B. in dem Verhältnis der †Trilobiten zu den Cephalopoden), aber in vielen Fällen läßt sich kein sicheres Anzeichen für solchen Kampf ableiten. Die Annahme, daß, wie die Entwickelungsmöglichkeit so auch die Existenzfähigkeit der Organismen beschränkt sei, oder daß, wie die Individuen so auch Arten und Stämme altern, wird von den

Digitized by Google

meisten (ob mit vollem Recht?) abgelehnt. Das „Aussterben der Arten“ ist zweifellos das schwierigste Problem der Stammesgeschichte, welches durch die Kenntnis der fossilen Lebewesen aufgerollt wird.

Unter Berufung auf Lamarcks Wort „les races des corps vivants subsistent toutes malgré leurs variations“ bestreitet Steinmann das Aussterben der Arten. Er sieht kein den Artentod beweisendes Moment. Nur der Mensch stört den Entwickelungsgang und rottet aus (die Stellersche Seekuh, die Riesenvögel von Neuseeland, den Dronte, manche Großtiere der Diluvialzeit). Nach Steinmann existieren die ausgestorbenen Typen umgeformt noch heute: die †Trilobiten in Fischen, Insekten, Arachniden, die †Ammoniten in Argonauta, die †Ichthyosaurier in Delphinen, die †Dinosaurier in Vögeln und Säugern u. a. m. Die so gezogenen Stammlinien lassen sich als unzutreffend beweisen und die Tatsache bleibt bestehen, daß viele Typen nachkommenlos ausstarben, daß andere, ihnen fremde, aufblühend ihre Stelle in der Natur eingenommen haben. Die Rolle des prähistorischen Menschen als eines Vernichters der Tierwelt ist von Steinmann weit überschätzt worden (vgl. Soergel).

Vermag das paläontologische Material auch nicht den Aufbau einer vollständigen Geschichte des Lebens zu geben, so hat es doch wenigstens eine Zahl wichtiger Erkenntnisse dazu erschlossen. Es bestätigt durch Wahrscheinlichkeitsbeweise die Richtigkeit der Abstammungslehre. Es spricht im allgemeinen für monophyletischen Gang der Entwickelung, wenn es auch mehr parallellaufende Formen- und Stammreihen im Umfang der großen Typen des Tierreichs zeigt, als daß es die gesuchte vielfältigste Verästelung der Stämme aus einer einzigen Wurzel eindeutig nachweisen ließe. Die erkennbaren Umprägungen der Arten und Stämme werden durch das fossile Material als Reaktionen auf die Verhältnisse der Umwelt bewiesen und als Anpassungen, die auf abgeändertem Gebrauch der Organe beruhen. Aus der durch die Paläontologie enthüllten Geschichte des Lebens ist weniger Bestätigung für das darwinische Selektionsprinzip zu finden als für die Richtigkeit der deszendenztheoretischen Grundgedanken Lamarcks, Geoffroy St. Hilaires und M. Wagners.

Literatur. *Gesamtdarstellungen:* **K. A. v. Zittel,** *Handbuch der Paläontologie, I bis IV, 1876 bis 1893.* — **Derselbe,** *Grundzüge der Paläontologie, I. Invertebrata, 3. Aufl., 1909, II. Vertebrata, 2. Aufl., 1910.* — **E. Koken,** *Die Vorwelt und ihre Entwickelungsgeschichte, 1893.* — *2. Spezialwerke:* **O. Abel,** *Paläobiologie, 1912.* — **E. D. Cope,** *The Origin of the Fittest, 1887.* — **Ch. Depéret,** *L'évolution des mammifères tertiaires. C. R. Acad. Sc. Paris, Bd. 141, 142, 143, 1905 bis 1906.* — **Derselbe,** *Les transformations du monde animal, 1907 (deutsch von R. N. Wegner, 1909).* — **K. Diener,** *Paläontologie und Abstammungslehre, 1910.* — **L. Dollo,** *Les lois de l'évolution. Bull. soc. belge de Géol. Pal. et d'Hydrol., Bd. 7, 1893.* — **Derselbe,** *La Paléontologie éthologique, ebendort, Bd. 23, 1909.* — **R. Hoernes,** *Das Aussterben der Arten und Gattungen sowie d. größ. Gruppen d. Tier- u. Pflanzenreichs, 1911.* — **O. Jaekel,** *Ueber verschiedene Wege phylogenetischer Entwickelung. Verh. d. V. Internat. Zool. Kongr. (1901), 1902.* — **E. Koken,** *Paläontologie und Deszendenzlehre, 1902.* — **W. Kowalewsky,** *Monographie der Gattung Anthracotherium etc. Palaeontographica, Bd. 22, 1873 und 1874.* — **H. F. Osborn,** *The law of adaptive radiation. Amer. Natural., Bd. 34, 1902.* — **G. Steinmann,** *Die geologischen Grundlagen der Abstammungslehre, 1908.*

J. F. Pompeckj.

Pallas

Peter Simon.

Geboren am 22. September 1741 zu Berlin, gestorben am 8. September 1811 ebenda. Als Sohn eines bekannten Professors der Chirurgie studierte er zunächst Medizin und Naturwissenschaften in Berlin, Halle und Göttingen. Nach längerem Aufenthalt in Holland und England gab er als Frucht seiner Arbeiten in Naturaliensammlungen einige für seine Zeit ausgezeichnete zoologische Werke heraus. Die Bekanntschaft mit fast allen Zweigen der Naturwissenschaften und sein großes Sprachentalent trugen ihm 1768 einen Ruf der Kaiserin Katharina II. als Adjunkt der Akademie nach Petersburg und die Ernennung zum Leiter einer Expedition zur naturwissenschaftlichen Durchforschung des russischen Asiens ein. 1774 kehrte er von dieser Reise zwar an seiner Gesundheit schwer geschädigt, aber mit reichem Material an geographischen und geologischen, botanischen, zoologischen und ethnographischen Beobachtungen zurück. Nach einer 1793 angetretenen zweijährigen Reise nach dem südlichen Rußland und der Krim lebte er bis 1810 auf einer ihm von Katharina II. geschenkten Besitzung bei Sympheropol. Dann kehrte er nach Berlin zurück. — Außer den „Reisen durch verschiedene Provinzen des russischen Reiches in den Jahren 1768—1774“, in denen der größte Teil seiner vielseitigen Beobachtungen niedergelegt ist, sind seine „Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebirge“ mit den ersten geologischen Nachrichten über das Ural- und Altaigebirge aus der großen Zahl seiner in verschiedenen Sprachen verfaßten Werke besonders hervorzuheben. In seiner Abhandlung „D'une masse de fer natif trouvée en Sibérie“ ist eine von Chladni als meteorisch erkannte Eisenmasse, ein sogenannter Pallasit, beschrieben.

Literatur. Rudolphi, *Peter Simon Pallas. Ein biographischer Versuch. Berlin 1812.* — **Cuvier,** *Eloges historiques II. 1819.* — **Bernoulli,** *Reisen IV, 23.* — **Allg. Deutsche Biographie** *25, 81.*

K. Spangenberg.

Digitized by Google

Panceri
Paolo.

Geboren am 23. August 1833 in Mailand, gestorben am 12. März 1877 in Neapel. Bekleidete die Professur für vergleichende Anatomie in Neapel bis zu seinem Tode. Seine Arbeiten betreffen die verschiedensten Gebiete. So trug er zur Kenntnis der Negerrasse der Akka bei, prüfte die Wirkung des Giftes mancher Schlangen und der Tarantel, ferner arbeitete er über die Absonderung freier Schwefelsäure im Speichel gewisser Schnekken. Auch der Phosphoreszenz der Seetiere hat er sein Interesse zugewandt. Mit anderen italienischen Forschern seiner Zeit (delle Chiaje, Cavolini) förderte er in erfolgreichster Weise die Kenntnis der italienischen Land- und Meeresfauna in der von Cuvier gebahnten Richtung.

Literatur. ***Burckhardt**, Geschichte der Zoologie. Leipzig 1907. — La grande Encyclopédie. 1903.*

W. Harms.

Pander
Christian Heinrich.

Geboren am 12. Juli 1794 in Riga, gestorben am 22. September 1865 in St. Petersburg. Studierte in Jena und Würzburg und wurde 1822 Adjunkt und im folgenden Jahre Mitglied der Petersburger Akademie für das Fach der Zoologie. Im Jahre 1828 erbat er sich jedoch schon seine Entlassung. Er ist als eigentlicher Begründer der Entwickelungsgeschichte der Wirbeltiere anzusehen. Seine Untersuchungen wurden am Hühnchen angestellt, und zuerst als lateinische Doktordissertation, später als selbständige deutsche mit Abbildungen versehene Schrift veröffentlicht. Später, 1818, erschienen auch noch einzelne Abschnitte in der Isis, die mit erläuternden Bemerkungen, hervorgerufen durch Okens Kritik, sowie mit schematischen Zeichnungen versehen waren. Die Untersuchungen wurden von Döllinger veranlaßt, der den glücklichen Gedanken hatte, die Entwickelung des Hühnchens von Stunde zu Stunde systematisch verfolgen zu lassen. Die Arbeit gewann noch dadurch an Wert, daß der ältere d'Alton es übernahm, sich in die Untersuchungen einzuarbeiten, um sie mit bildlichen Darstellungen zu versehen. So entstand eine Arbeit, die zwar in einzelnen Tatsachen an das von Wolff gesehene anknüpfte, im ganzen aber neue ungeahnte Tatsachen zutage förderte. Durch diese Untersuchungen wurde zum erstenmal die Bildung des Vogelkörpers aus drei Keimblättern nachgewiesen. Außerdem wurde die Lehre von der Entwickelung sämtlicher Organe aus diesen Keimblättern untersucht und begründet. In den folgenden Jahren beschäftigte er sich nun mit vergleichender Osteologie und gab 1821 bis 1831 mit d'Alton zusammen einen mit prachtvollen Abbildungen versehenen Atlas der Knochenlehre heraus. In seinen späteren Jahren hat er sich hauptsächlich mit Geologie und Paläontologie beschäftigt. Er ist als Begründer der mikroskopischen Paläontologie anzusehen. Seine Hauptarbeiten sind: Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Hühnchens, Würzburg 1812. Vergleichende Osteologie (mit d'Alton), Bonn 1821 bis 1828, mit 103 Kupfertafeln. Beiträge zur Geognosie des russischen Reiches, Petersburg 1831.

Literatur. ***G. Carus**, Geschichte der Zoologie. München 1872. — **Burckhardt**, Geschichte der Zoologie. Leipzig 1907. — Rigasche Biographien. III. Bd. S. 98—100. Riga 1884. — **L. Stieda**, Allgemeine deutsche Biographie. Bd. 25. 1887.*

W. Harms.

Pankreas.

1. Das Pankreas: a) Anatomie und Histologie. b) Chemie des Pankreas. 2. Der Pankreassaft: a) Gewinnung. b) Zusammensetzung. c) Menge. 3. Die Wirkungen des Pankreassaftes: a) Wirkungen auf Eiweißkörper: α) Trypsin und Ereptase. β) Labferment. b) Wirkungen auf Kohlehydrate: α) Pankreasdiastase. β) Maltase. γ) Laktase. c) Wirkungen auf Fette. 4. Die Absonderung des Pankreassaftes: a) Histologische Veränderungen. b) Sekretionsreize und Innervation. c) Abhängigkeit der Sekretion von Tierart und Nahrung. 5. Die innere Sekretion des Pankreas. 6. Die Bedeutung des Pankreas für die Verdauung.

1. Das Pankreas. 1 a) Anatomie und Histologie. Das Pankreas (Bauchspeicheldrüse) ist mit Ausnahme von Amphioxus bei allen daraufhin untersuchten Wirbeltieren gefunden worden, doch weist es in seiner Form, besonders bei den Fischen, so mannigfaltige Verschiedenheiten auf, daß seine Anwesenheit bei diesen Tieren vielfach erst durch mikroskopische Untersuchung sichergestellt worden ist.

Während es bei den Säugetieren, Vögeln, Amphibien, Haifischen und Rochen als kompakte, verschieden geformte, in der Nähe des Magens und der Leber gelegene Drüse aufzufinden ist, ist es bei anderen Tieren in Form einzelner kleinster Drüsen weit in der Bauchhöhle zerstreut oder begleitet die Blutgefäße und durchzieht mit ihnen das Mesenterium. Die Pfortader umhüllend durchdringt es bei anderen die Leber und bildet so, ohne sonst mit der Leber in Beziehung zu treten, das Hepatopankreas verschiedener Fische (Teleostier) oder ist auch, nur räumlich auf die Umgebung seines Ausführungsganges beschränkt, zwischen Muscularis und Serosa des Darmes aufzufinden. Näheres bei Oppel und Biedermann (s. Literatur).

Bei Wirbellosen liegt in der Mitteldarmdrüse (Hepatopankreas) ein Organ vor, welches ähnliche Funktionen wie das Pankreas der Wirbeltiere zu erfüllen hat. Außer diesen Verrichtungen, die in der Produktion von Verdauungssäften und Fermenten bestehen, liegen diesem Organ aber auch noch mannigfaltige andere Funktionen ob (vgl. den Artikel „Leber"; ferner bei Biedermann und Weinland).

Das Pankreas der Säugetiere ist blaßrot (Ruhezustand) bis rotbraun (Tätigkeit) gefärbt und liegt beckenwärts von Leber und Magen, ventral von der Wirbel-

Digitized by Google

säule und dorsal vom Duodenum. Beim Menschen wird sein breiter Teil Caput pancreatis, sein schmaler, an die Milz grenzender Cauda pancreatis genannt. Bei den Tieren weicht die Form der Drüse hiervon mehr oder weniger ab. Meist ist sie bandartig, oft aber mehr oder weniger stark gelappt (z. B. Pferd, Schwein, Kaninchen).

Beim Menschen vereinigen sich die Ausführungsgänge zu einem gemeinsamen Hauptgang Ductus pancreaticus (Wirsungianus). Dieser mündet gemeinsam mit dem Gallengang an der Papilla duodeni in das Duodenum. Ein kleiner Nebengang, Ductus pancreaticus accessorius (Santorini), mündet, sofern er überhaupt vorhanden ist, meist in den Hauptgang, selten gesondert in den Darm.

Bei den Tieren bestehen bezüglich der Ausführungsgänge Verschiedenheiten. Beim Pferde liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Menschen, nur daß meist ein Nebengang vorhanden ist. Beim Rind, welches nur einen Gang besitzt, mündet dieser meist 30 bis 40 cm hinter dem Gallengang (70 bis 90 cm vom Pylorus entfernt) in den Darm ein. Beim Schwein ist diese Entfernung geringer, 12 bis 20 cm; der Hund hat einen Hauptgang, der dicht neben dem Gallengang und einen Nebengang (manchmal zwei), der entfernt einmündet. Schaf und Ziege besitzen nur einen Gang, der mit dem Gallengang mündet. Bei Vögeln finden sich bis 3 Ausführungsgänge und bei anderen Wirbeltieren sind ähnliche Verschiedenheiten, wie oben geschildert, bezüglich Zahl und Mündung der Ausführungsgänge vorhanden (vgl. Biedermann).

Die Arterien des Pankreas entstammen der A. coeliaca und mesenterica cranialis, die Venen gehen in die Vena portae.

Die nervöse Versorgung erfolgt durch N. vagus und sympathicus (splanchnicus). Während die Vagusfasern direkt zum Pankreas führen, treten die sympathischen Fasern, auch die, die in der Vagusbahn verlaufen, zunächst in den Plexus coeliacus und mesentericus ein, von dort aus führen Nerven zum Pankreas, das aber auch noch intraglanduläre Ganglien enthält.

Histologie (näheres siehe bei Oppel und Ellenberger). Das Pankreas ist eine alveoläre oder alveolo-tubulöse Drüse. Es ähnelt den Speicheldrüsen, ist aber von diesen schon aus entwickelungsgeschichtlichen Gründen zu trennen und auch durch den feineren Bau verschieden. Das Drüsenparenchym enthält neben den Drüsenend-(Haupt-)stücken viel Gefäße, Nerven, Ganglien und Stützgewebe (Fig. 2). Das Stützgewebe besteht meist aus Bindegewebe, enthält elastische Fasern, zerlegt die Drüse in Läppchen und bildet eine dünne äußere Drüsenkapsel.

Das Drüsenepithel besteht aus kegel- und pyramidenförmigen Zellen. Sie sind rein serös und dadurch charakterisiert, daß sie eine deutliche Zonenbildung (Fig. 1) mit einer in gewissen Funktionszuständen (vgl. unten) breiteren lumenseitigen Innen- und einer schmäleren Außenzone aufweisen, die schon von Cl. Bernard, Langerhans und Heidenhain gesehen worden sind. Die homogene, dunklere, mit bestimmten Färbemitteln streifig (durch Basalfilamente) erscheinende Außenzone beherbergt den runden Kern, der auch manchmal in die lumenseitige Schicht hineinragt (Fig. 1). Diese ist besonders in sekretgefülltem Zustande reich an in ein zartes Protoplasmanetzwerk eingelagerten Sekretgranulis (vgl. unten). Sie enthält auch Fettkörnchen und zeigt gegenüber der Außenzone ein verschiedenes tinktorielles Verhalten. Neben dem Kern finden sich manchmal in ihrer Funktion unbekannte, halbmondförmige Nebenkerne.

Das Lumen der Drüsenendstücke ist sehr eng; zwischen den Drüsenzellen verlaufen Sekretkapillaren (Fig. 1, c).

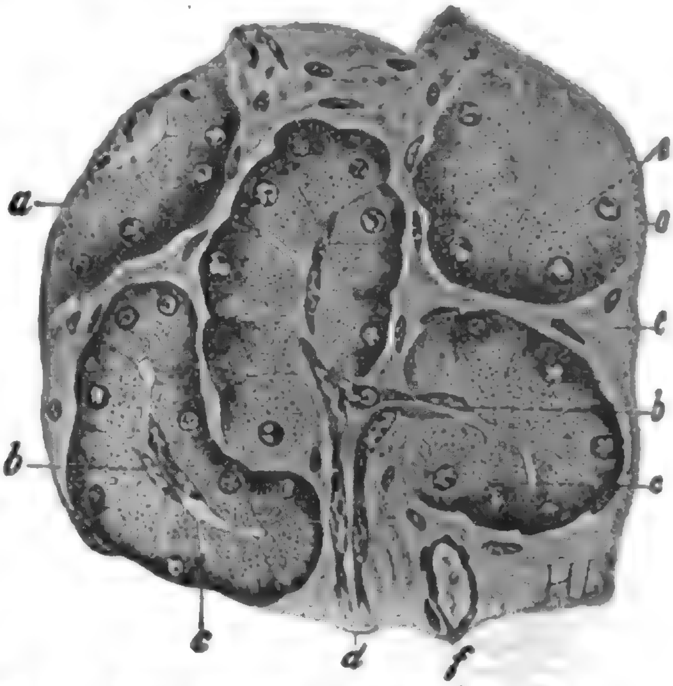


Fig. 1. Schnitt an dem Pankreas des Rindes (nach Ellenberger). a Drüsen-, b Zentroazinäre Zellen, c Sekretkapillaren, d Schaltstücke, e Intralobulargewebe, f Blutgefäß.

An die Drüsenendstücke schließen sich die sogenannten Schaltstücke an, die sofort in die interlobulären Aeste der Ausführungsgänge übergehen. Die Schaltstücke sind mit kubischen oder platten Zellen ausgekleidet, die sich als zentroazinäre Zellen Langerhans' (Fig. 1, b) bis in die Endstücke hinein finden können. Die interlobulären abführenden Gänge sind mit Zylinderepithel ausgekleidet. Die größeren Ausführungsgänge haben in ihrer Wand glatte Muskelfasern und teilweise kleine Drüsen, in ihrem Epithel treten vereinzelte Becherzellen auf.

Die Pankreasinseln. Neben dem Drüsenparenchym finden sich im Pankreas wohl aller Wirbeltiere eigenartige Zell-

Digitized by Google

haufen, die als Pankreasinseln oder nach ihrem Entdecker **Langerhans** als „**Langerhanssche Inseln**" bezeichnet werden (Fig. 2). Sie sind sehr zahlreich und unterscheiden sich scharf vom Drüsenparenchym schon durch ihre geringere Färbbarkeit und das charakteristische Aussehen ihrer Zellen. Diese zeigen vor allem nicht die oben geschilderte charakteristische Zonenbildung und enthalten keine Sekretgranula. Die Form der Inselzellen ist mannigfaltig (kubisch, zylindrisch, polyedrisch); sie sind mit sehr feinen Protoplasmakörnchen gefüllt und haben einen basal gelegenen, unregelmäßig geformten Kern. Manchmal sind die Inselzellen um ein Lumen angeordnet (Fig. 3), doch hat man niemals einen ausführenden Apparat finden können. Man nimmt deshalb an, daß ihr Sekret nicht etwa nach außen in den Darm ergossen wird, sondern ihre Tätigkeit auf einer inneren Sekretion beruht. Hierfür spricht auch ihre sehr reiche Versorgung mit Blutkapillaren, die sich durch besondere Weite auszeichnen, die Inseln durchziehen und sie rundum gemeinsam mit größeren Gefäßen umgeben. Näheres über die Inseln bei **Ellenberger** (s. Literatur).

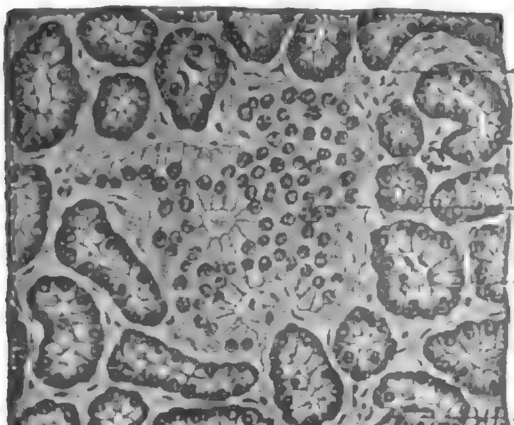


Fig. 3. Pankreasinsel mit Lumen vom Rinde. Nach Ellenberger. a Insel, b Drüsenendstück, c Inselkapsel, d Zentroacinäre Zellen, e Schaltstück.

1b) Chemie des Pankreas. Die Proteinsubstanzen der Bauchspeicheldrüse bestehen in der Hauptsache aus Nukleoproteiden: dem sogenannten α-Proteid (**Hammarsten**), der Muttersubstanz der Guanylsäure und einem weiteren Nukleoproteid, der Muttersubstanz der Thymonukleinsäure aus Pankreas. Das α-Proteid hat eine elementare Zusammensetzung von P 1,67%; S 1,29%; N 17,12% und Fe 0,13%. Durch Trypsin und Pepsin wird es in Guanylsäure und die übrigen Eiweißabbauprodukte zerlegt. Durch Sieden ist es nach **Hammarsten** in das sogenannte β-Proteid überführbar, welches sich durch einen größeren P-Gehalt auszeichnet.

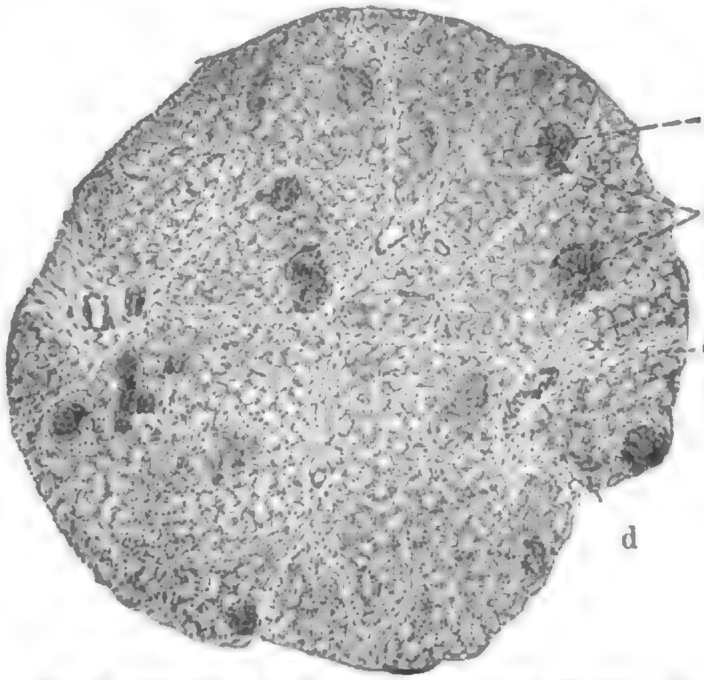


Fig. 2. Schnitt an dem Pankreas vom Kalbe. Nach Ellenberger. a Pankreasinseln, b Hohlraum durch Ausfallen einer Insel entstanden, c Interlobulares und interstitielles Gewebe, d Gefäß.

Ferner sind zahlreiche organische und anorganische Bestandteile im Pankreas aufgefunden worden, von denen besonderes Interesse, außer den Fermenten und Profermenten des Pankreassaftes, noch einige **Fermente** beanspruchen, die wahrscheinlich lediglich als **intrazelluläre** Fermente der Drüse anzusehen sind, im Sekret selbst aber vermißt werden. Von ihnen sind die **Nuklease** (ein Nukleinsäure spaltendes Ferment) und die im Schweinepankreas aufgefundenen **Guanase** und **Adenase** zu nennen, die Guanin und Adenin in Xanthin und Hypoxanthin überzuführen vermögen. Auch die **Laktase** ist vielleicht als Endoferment des Pankreas aufzufassen (vgl. unten S. 486).

2. **Der Pankreassaft.** 2a) Gewinnung. Reiner Pankreassaft kann nur auf operativem Wege gewonnen werden, in dem eine temporäre oder permanente Pankreasfistel angelegt wird (**Cl. Bernard**, **Ludwig**, **Heidenhain**, **Colin**, **Pawlow** usw.). Die ersten Untersucher bedienten sich der Temporärfistelmethode (**Regnier de Graf** 1664, **Tiedemann** und **Gmelin** und andere). Dazu verfuhren sie derart, daß sie nach Eröffnung des Darmes beim lebenden Tiere eine Kanüle in die Oeffnung des Ausführungsganges einführten, und das ausfließende Sekret sammelten. Man erhält dabei aber keineswegs ein normales Sekret, wie dies vor allem deutlich beim Hunde zutage tritt, dessen aus temporären Fisteln gewonnener Saft viscös, dick und reich an Trockensubstanz ist, sich also wesentlich von dem normalen Sekret (vgl. unten) unterschei-

Digitized by Google

det. Ein solches ist nur aus dauernden Fisteln zu gewinnen, wie Pawlow mit Recht betont. Die Methodik zur Anlegung solcher ist von Heidenhain und in erster Linie von Pawlow ausgebildet worden. Es wird dabei die Mündung des Ausführungsganges mitsamt Papilla duodeni ausgeschnitten und in der äußeren Bauchwand zur Einheilung gebracht. Nach einigen Tagen wird die die Mündung umgebende Schleimhautzone operativ entfernt, um die Beimischung des von ihr abgesonderten Sekretes zu verhindern.

An derartigen Fisteln ist die Zusammensetzung und Absonderung des Pankreassaftes in zahlreichen Untersuchungen an Hunden studiert worden. Von anderen Tieren liegen fast nur ältere Untersuchungen über Saft aus temporären Fisteln vor (Tiedemann und Gmelin, Frerichs, Colin: große und kleine Wiederkäuer, Pferd, Esel; Cl. Bernard: Gans; und neuerdings Langendorff: Taube).

In besonderen Fällen sind auch nach Verletzungen oder Pankreaserkrankungen Fisteln an den Ausführungsgängen des Pankreas beim Menschen beobachtet worden (unter anderen von Glaessner, Wohlgemuth, Schumm), so daß die Absonderung und Zusammensetzung des menschlichen Pankreassaftes sehr gut bekannt ist.

2b) Zusammensetzung. Der Pankreassaft von Mensch und Hund und, soweit man aus den vorliegenden Angaben erkennen kann, auch der der anderen Tiere, ist eine klare, wasserhelle, deutlich alkalische Flüssigkeit von salzigem Geschmack und ohne besonderen Geruch. Sein spezifisches Gewicht beträgt bei Mensch und Hund durchschnittlich 1,007 bis 1,01. Sehr leicht unterliegt er der Fäulnis.

Die anorganischen Bestandteile sind im allgemeinen die gleichen wie die anderer tierischer Flüssigkeiten. Es überwiegen unter ihnen die Alkalichloride, neben denen in ebenfalls reichlicher Menge Alkalicarbonat vorhanden ist, welches die alkalische Reaktion veranlaßt. Ferner finden sich auch geringe Mengen von Phosphaten und neben den Alkalien auch Ca, Mg und Fe.

Die organischen Bestandteile sind mannigfaltig. Eiweißkörper, Leucin, Seifen, Purinkörper und bei einigen Tieren Mucin, welches von den Schleimzellen des ausführenden Apparates geliefert wird. Die wichtigsten organischen Bestandteile sind die Fermente des Bauchspeichels, die zum Teil als unwirksame Vorstufen, Zymogene (Profermente), darin enthalten sind. Es finden sich proteolytische Fermente, Trypsin (als Trypsinogen, Protrypsin) und Ereptase, ferner ein Labferment (als Proferment), Kohlenhydrat spaltende Fermente (Diastase, Maltase) und ein fettspaltendes Ferment, das Steapsin (als Prosteapsin).

Die quantitative Zusammensetzung des Pankreassaftes ist nach der Art des Sekretionsreizes (vgl. unten), der Dauer der Sekretion und anderem sehr verschieden. Es seien hier zwei Analysen Glaessners eines menschlichen Pankreassaftes angeführt, der ein spezifisches Gewicht von 1,0075 hatte und eine Gefrierpunktserniedrigung von 0,46 bis 0,49 zeigte.

	I	II
Trockensubstanz	1,27	1,25
Asche	0,57	0,7
N-Gehalt	0,098	0,084
Koagulierbares Eiweiß	0,174	0,127

Ganz ähnliche Werte ergab eine Analyse des Pankreassaftes vom Hund (De Zwila): Trockensubstanz 1,5%, Asche 1,0%, Eiweiß 0,6%.

Von anderen Tieren seien einige Zahlen über den Trockensubstanzgehalt des Bauchspeichels angeführt.

Esel	1,36%	(Frerichs)
Pferd	0,9 %	(Leuret u. Lassaigne)
Kaninchen	1,76%	(Henry u. Wollheim)
Schaf	3,65%	(Tiedemann u. Gmelin)
Taube	1,3 bis 1,4%	(Langendorff).

2c) Menge. Die Menge des täglich oder nach einer Mahlzeit abgesonderten Pankreassaftes wird voraussichtlich von den Absonderungsbedingungen sehr beeinflußt (vgl. unten), so daß nur schätzungsweise Angaben gemacht werden können. Beim Menschen betrug die Tagesmenge des aufgefangenen Sekretes 293 bis 531 ccm (Schumm); 450 bis 848 ccm (Glässner); 600 ccm (Pfaff); sie ist aber zweifellos größer, da nicht aller Saft mit Sicherheit erhalten wurde und die Kranken nur wenig Nahrung zu sich nahmen. Für den Hund geben Pawlows Schüler 21,8 ccm pro 1 kg in 24 Stunden als Mittelzahl an.

3. Die Wirkungen des Pankreassaftes.

3a) Auf Eiweißkörper. *α*) Trypsin und Ereptase. Die für die Eiweißverdauung außerordentlich wichtige Bedeutung des Pankreassaftes ist erst verhältnismäßig spät, nachdem schon die übrigen Fermentwirkungen des Bauchspeichels bekannt waren, sichergestellt worden (Corvisart 1857/58). Die grundlegenden Untersuchungen über diese Fermentwirkung sind erst später und zwar in erster Linie von Kühne durchgeführt worden, der auch dem Ferment seinen Namen Trypsin gab. Der Grund für die relativ späte Erkennung der Bedeutung dieser Wirkung liegt außer in der in der Zeit der Verdauungsferment-Entdeckungen bestehenden methodischen Schwierigkeiten vielleicht auch mit darin, daß die proteolytische Wirkung pankreatischer Extrakte nicht immer unter allen Umständen zutage tritt. Abgesehen von dem verschiedenen Verhalten einzelner Proteine und der Fäulnisfähigkeit pankreatischer Extrakte ist es nämlich schon von den älteren Autoren (Heidenhain) genau erkannt worden, daß Extrakte aus ganz frischen, dem Tier unmittelbar entnommenen Drüsen proteolytisch unwirksam sind. Extrakte aus Drüsen hingegen, die einige Zeit an der Luft gelegen haben, zeigen sehr energische Wirkung. Es geht aus dieser Beobachtung hervor, daß wirksames Fer-

ment in der Drüse häufig nicht enthalten ist, sondern darin erst durch äußere Einwirkungen aus einer Vorstufe entsteht. Schon Kühne bezeichnete die Vorstufe als Trypsinogen. Diese älteren Beobachtungen haben eine Ergänzung und Bestätigung durch die zahlreichen Untersuchungen mit permanenten Pankreasfisteln erfahren (Pawlow, Delezenne, Frouin, Bayliss und Starling, Zunz, Wohlgemuth, Glaessner u. a. m.). Es hat sich dabei in den weitaus meisten Fällen ergeben, daß Pankreassaft, sofern er nicht mit etwa erhalten gebliebenen Stückchen der Darmschleimhaut in Berührung kommt, kein aktives Trypsin enthält. Dieser Befund ist nicht nur an Hunden, sondern auch an Menschen (Wohlgemuth, Glaessner, Ellinger) und am Ochsen (Kadjikoff) erhoben worden, so daß jetzt die überwiegende Mehrzahl der Forscher die Lehre von der Inaktivität des normalen, reinen Pankreassaftes angenommen hat.

Damit wäre die Frage in höchst einfacher Weise gelöst, wenn nicht wie bei allen diesen sehr schwer nach allen Richtungen erschöpfend experimentell zu behandelnden Problemen auch wieder gegenteilige Befunde vorlägen, die nicht schlechtweg abgelehnt werden können. Gerade von Schülern Pawlows (insbesondere Lintwarew) ist in einigen Fällen doch reiner Saft, der wirksames Trypsin enthielt, erhalten und ebenso ist von anderer Seite behauptet worden, daß bei Anwendung gewisser Sekretionsreize (Sekretin, Wittepepton nach Frouin; Nervenreizung nach Sawitsch, Kudrewetzky) trypsinhaltiger Saft abgesondert wurde.

Wir müssen also eine Einschränkung dahin machen, daß zwar im allgemeinen inaktiver nur trypsinogenhaltiger Saft abgesondert wird, unter Umständen aber auch die Aktivierung in der Drüse selbst schon stattfinden kann.

Die zur Erklärung von mehreren Autoren vertretenen dahingehenden Anschauungen, daß hierbei die Milz in irgendeiner Weise beteiligt sei (Ladungstheorie von Schiff und später Herzen haben sich als unbegründet erwiesen (Prym, Pflügers Arch. Bd. 104 und 107).

Der Aktivierungsvorgang selbst ist ebenfalls Gegenstand zahlreicher Untersuchungen geworden, deren Resultate ihn aber bisher keineswegs völlig erschöpfend aufzuklären vermochten.

Aus der Zeit der ersten Untersuchungen her ist bekannt, daß durch die Tätigkeit von Mikroorganismen eine Aktivierung unwirksamer Pankreasextrakte stattfinden kann. Man glaubte hieraus auch auf eine Mitwirkung von Säuren, die dabei entstehen könnten, schließen zu sollen; doch wird die Ueberführung des Trypsinogens in Trypsin durch Säuren neuerdings bestritten (Hekma). Hingegen ist festgestellt worden, daß Leberpreßsaft, Galle und einzelne Aminosäuren diese Aktivierung tatsächlich zu bewirken vermögen (Wohlgemuth, Bioch. Z., Bd. 2, 1906). Für die Entstehung des Trypsins aus Trypsinogen im Darm sind diese Aktivierungsweisen wohl ohne Belang. Hier ist es die Vermischung mit Darmsaft, ja sogar nur die Berührung mit der sezernierenden Darmschleimhaut, die sofortige Aktivierung zur Folge hat. Das wirksame Agens ist die Enterokinase (Schepowalnikow). Ueber Natur und Wirkungsweise dieses vielleicht fermentartigen Körpers bestehen bekanntlich große Kontroversen (vgl. den Artikel „Darm“).

Von größerer Bedeutung sind ferner nach Angaben mehrerer Autoren die Kalksalze, die schon in ganz minimaler Menge wirksam sein dürften (Delezenne, Zunz, Ayrton).

Trypsin. Das Trypsin, über dessen chemische Konstitution ebensowenig wie über die der Fermente überhaupt Klarheit herrscht, ist in Wasser, verdünnten Salzlösungen und Glycerin löslich, in Alkohol, Aether, Chloroform und dergleichen unlöslich. Durch Alkohol ist es aus seinen Lösungen fällbar und kann so in unreiner Form vermischt mit Eiweiß als Pulver erhalten werden (sogenanntes Pankreatin). Zur Gewinnung ist es auch möglich, das Trypsin durch Einlegen von Elastinstückchen aus seiner Lösung zu absorbieren (Abderhalden).

Das Trypsin ist vielleicht noch weniger wie andere Fermente ein wohldefinierter Körper, wir bezeichnen damit einfach das proteolytisch wirksame Prinzip des Pankreassaftes, wobei die Frage offen bleibt, ob es sich nicht vielleicht um mehrere Fermente handelt.

Trypsin wird durch Erwärmen je nach der Reinheit seiner Lösungen bei 50° bis 80° zerstört, besonders empfindlich ist es gegen höhere Temperaturen bei alkalischer Reaktion. Angeblich sehr widerstandsfähig gegen Hitze ist es in Pepton, Gelatine, Agar-Agar und Glycerinlösungen. Letztere sollen direkt sterilisierbar sein (E. Schmidt, Z. f. phys. Chem. Bd. 67).

Die Beförderung der Wirkung des Trypsins durch Galle ist mehrfach beobachtet worden, scheint aber keineswegs immer zu bestehen (v. Fürth und Schütz). Jedenfalls scheint die Anwesenheit von Salzen für die Trypsinwirkung nötig zu sein, da Frouin und Compton (C. R. Bd. 153, 1911) durch Dialyse gegen destilliertes Wasser die Trypsinwirkung verschwinden machen und durch Zusatz von verschiedenen Salzen, die auch im Darminhalt vorkommen, wieder restituieren konnten.

Das Trypsin vermag seine Wirkung am besten bei schwach alkalischer (bis 0,3 % Na_2CO_3) und neutraler also einer Reaktion zu entfalten, die der gewöhnlichen im Darme

Digitized by Google

entspricht. Auch ganz schwach saure Reaktion läßt seine Wirkung nicht verschwinden. Hingegen wirkt es in sauren, freie Mineralsäuren enthaltenden Lösungen, und besonders solchen salzsauren, die der Konzentration des Magensaftes und Mageninhaltes entsprechen, nicht mehr. Schon dadurch unterscheidet es sich scharf vom Pepsin.

Die Veränderungen, die das Eiweiß durch die Trypsinwirkung erleidet, sind wesentlich von denen der Pepsinwirkung verschieden. Schon äußerlich tritt dies dadurch hervor, daß das Eiweiß zur Trypsinverdauung einer vorherigen Quellung nicht bedarf. Koagulierte Eiweißstückchen werden mürbe und bröckelig und zerfallen unter Auflösung allmählich.

Die ersten grundlegenden Untersuchungen über die Trypsinspaltung sind von Kühne und seiner Schule ausgeführt worden. Er nahm im Eiweiß zwei Gruppen, die „Hemi"- und die „Anti"gruppe, an, von denen die Hemigruppe durch Trypsin bis zu Aminosäuren, von denen er Leucin und Tyrosin isolierte, gespalten werden sollte, während die Antigruppe in Gestalt des „Antipeptons" einer weiteren Spaltung durch Trypsin widerstand.

Schon hieraus geht hervor, daß die Spaltung des Eiweißes durch Trypsin ganz verschieden von der des Pepsins sein muß, indem das Trypsin andere Bindungen im Eiweißmolekül löst und dieses in anderer und viel weitgehenderer Weise spaltet als das Pepsin. Seine Wirkung bleibt nicht bei Peptonen stehen, sondern führt eine teilweise Spaltung bis zu Aminosäuren herbei.

In neuester Zeit ist der Vorgang mit Hilfe exakter chemischer Methoden durch E. Fischer und besonders Abderhalden weitgehend aufgeklärt worden. Schon kurze Zeit nach Beginn der Trypsinwirkung werden danach ganz bestimmte Aminosäuren aus dem Eiweißmolekül abgespalten, und zwar tritt zunächst Tyrosin und nahezu gleichzeitig damit Tryptophan und Cystin auf. Diese werden in verhältnismäßig kurzer Zeit (Tyrosin z. B. aus Edestin innerhalb zweier Tage) vollständig abgespalten. Bei längerer Einwirkung findet dann allmählich die Abspaltung weiterer Aminosäuren statt, deren Bindungen im Eiweißmolekül vom Trypsin offenbar schwer gelöst werden. Glutaminsäure, Asparaginsäure, Alanin, Valin, Leucin finden sich, während andere, wie Glykokoll, Prolin und Phenylalanin, auch bei sehr langer Einwirkung nicht auftreten. Diese bleiben mit dem Rest der nicht abgespaltenen anderen Aminosäuren in höher molekularen Komplexen vereinigt, die der Trypsinwirkung widerstehen, zurück. Die noch hochmolekularen Komplexe, die den Polypeptiden nahe stehen dürften, können isoliert und durch Säurehydrolyse in ihre Komponenten zerlegt werden. Sie geben, genügend lange Trypsinwirkung vorausgesetzt, die Biuretreaktion nicht mehr, es sind abiurete Peptone. Bis auf diesen widerstandsfähigen Rest wird also Eiweiß durch Trypsin in seine einfachsten Bausteine zerlegt.

Man kann beim jetzigen Stand der Forschung die Frage nicht mehr außer acht lassen, ob die soeben geschilderten Wirkungen tatsächlich die eines einzigen Fermentes sind oder ob sich an ihrem Zustandekommen nicht mehrere Fermente beteiligen. Da die Untersuchungen meist mit natürlichen Säften angestellt sind und vorläufig befriedigende Methoden der Darstellung und Trennung von Fermenten nicht zur Verfügung stehen, ist die Frage keineswegs leicht zu lösen oder unbeachtet zu lassen. Verschiedene Autoren glauben denn auch in der proteolytischen Wirkung des Pankreassaftes verschiedene Fermentwirkungen erblicken zu müssen; zum mindesten wird nicht geleugnet werden können, daß im Pankreassaft neben dem eigentlichen Trypsin noch eine Ereptase enthalten ist, also ein Ferment, welches native Eiweißkörper im allgemeinen nicht, wohl aber Albumosen und Peptone spaltet (vgl. die Artikel „Darm" (Erepsin) und „Eiweißkörper" S. 103).

Schaeffer und Terroine (Journ. de phys. et path. gén., t. 12, 1910) zeigten, daß frischer, trypsinfreier Pankreassaft native Eiweißkörper nicht angriff, wohl aber auf Peptone ereptische Wirkung entfaltete, und daß sich zu dieser Wirkung die des Trypsins nach Zusatz von Enterokinase addierte. Auch geben sie an, daß Protrypsin von der Ereptase durch Dialyse trennbar sei. Ein so behandelter Saft, zeigt dann bloß noch ereptische Wirkung, die aber durch Enterokinasezusatz nicht mehr zu verstärken ist. Zunz hat diese Befunde in verschiedener Richtung bestätigt (Arch. int. de phys., Bd. 11, 1911), ebenso Wohlgemuth (Bioch. Z., Bd. 39, 1912), der auch noch eine von der der Ereptase verschiedene peptolytische Wirkung im menschlichen Pankreassaft feststellte.

Inwieweit sich an der oben geschilderten Eiweißspaltung durch Pankreassaft auch die Ereptase beteiligt, ist unbekannt, jedenfalls muß sich die Ereptase vom Erepsin des Darmsaftes unterscheiden, da sie das durch Pankreassaft nicht aufspaltbare Peptongemisch offenbar nicht wie dieses zu spalten vermag.

Ob nun von der Ereptase abgesehen auch die sonstige Fermentwirkung auf einer Kombination verschiedener proteolytischer Fermentwirkungen, die man bisher einem einheitlichen

Digitized by Google

Körper, dem Trypsin zugeschrieben hat, beruht, muß vorläufig unentschieden gelassen werden und ist wenig wahrscheinlich. Weitere Untersuchungen können hierüber erst Auskunft geben.

Von einigen Angehörigen der Albuminoidgruppe abgesehen, werden fast alle Proteine vom Pankreassaft angegriffen, doch bestehen bezüglich der Schnelligkeit und Vollständigkeit der Auflösung auffallende Besonderheiten. Die genuinen Eiweißkörper des Blutserums und des Eiweißes zeigen eine ganz erhebliche Widerstandsfähigkeit gegen Trypsin, die jedoch mit der Denaturierung derselben sofort verloren geht (Oppenheimer mit Aron, Michaelis und Rosenberg). Ebenso wird lebendes Gewebe vom Trypsin nicht oder nur sehr schwer angegriffen (vgl. bei Oppenheimer, „Fermente“ und z. B. Fermi, Centralbl. f. Bakt., Bd. 56, 1910). Erst nachdem es abgestorben oder sonst verändert ist, wird es gelöst. In ganz besonders auffälliger Weise wird die Wirkung des Pankreassaftes durch eine vorhergehende Einwirkung von Magensaft auf das betreffende Substrat begünstigt. Die Produkte der Pepsinverdauung werden sehr rasch gespalten.

Die große Widerstandsfähigkeit lebender Gewebe und des frischen Blutserums ist wenigstens zum Teil auf die Anwesenheit antitryptischer Fermente in ihnen zurückzuführen, eine Annahme, auf die vor allem Weinlands Befunde über das Vorkommen von Antitrypsin in Eingeweidewürmern hingewiesen haben. Die Beobachtungen verschiedener Autoren sprechen sehr für das Vorkommen solcher Hemmungskörper im Blute, die ihre antitryptische Wirkung auch auf sonst wirksame Trypsinlösungen auszuüben vermögen. Es darf aber trotzdem nicht außer acht gelassen werden, daß strukturelle Besonderheiten der in Frage kommenden Zellen und Proteine den Angriff des Trypsins ausschließen. Hierauf deuten besonders Abderhaldens Arbeiten hin.

Ein besonderes Verhalten zeigt ferner rohes Bindegewebe, welches vom Trypsin nicht gelöst wird. Eine Lösung findet erst nach vorheriger Behandlung mit Säuren oder durch Kochen statt. Hierauf sind klinische, diagnostische Proben gegründet worden, bei fehlender Magenverdauung finden sich im Stuhl die unangegriffenen Bindegewebsfasern vor (Ad. Schmidt, Baumstark und Cohnheim).

Elastin wird vom Pankreassaft gelöst, ebenso Nukleoproteide, die, im Magensaft unlöslich, in Eiweiß und Nukleinsäuren gespalten werden. Auch hierauf gründen sich diagnostische Methoden, indem bei Pankreasinsuffizienz die Kerne kernhaltiger Gewebe aufgefunden werden können (Ad. Schmidts Kernprobe, Deut. Arch. klin. Med. Bd. 104, 1911, Strauch, ebenda, Bd. 121).

Das Trypsin wirkt in derselben Weise wie Pepsin (vgl. den Artikel „Magen“) derart, daß, ideale Verhältnisse vorausgesetzt, Fermentmenge und Verdauungsgeschwindigkeit proportional sind (Hedin, Palladin, Pflügers Arch., Bd. 134, 1910; Grützner, Pflügers Arch., Bd. 141, 1911). Durch Anhäufung von Verdauungsprodukten wird seine Wirkung beeinträchtigt, wenn auch scheinbar nicht so stark wie die des Pepsins. Konzentration der Ferment- und Substratlösungen bezw. Mengen, Art des Substrates, Temperatur, Reaktion u. a. m. beeinflussen die Wirkungsweise und veranlassen mehr oder weniger starke Abweichungen von der Grundregel der Fermentwirkung.

Zur Bestimmung des Trypsins sind zahlreiche Methoden ausgearbeitet worden, von denen wegen ihrer Handlichkeit die von Grützner und seinen Schülern ausgearbeitete kolorimetrische Methode besondere Beachtung verdient (Palladin, loc. cit., Waldschmidt, Pflügers Arch. Bd. 134, 1911). Es wird dabei ähnlich wie bei der Grütznerschen Pepsinbestimmung vorgegangen, nur wird das Fibrin mit einem anderen Farbstoff (Spritblau-bläulich, Diphenylrosanilin) gefärbt und in 0,1 prozentiger Sodalösung gearbeitet. Bei Auflösung des Fibrins färbt sich die Lösung je nach der gelösten Fibrinmenge mehr oder weniger intensiv, so daß eine kolorimetrische Bestimmung möglich ist.

Zur direkten Identifizierung eines Fermentes mit Trypsin muß man sich der Abderhaldenschen Methodik bedienen und das Ferment auf bestimmte, ihrer Konstitution nach genau bekannte Polypeptide einwirken lassen. Von diesen werden nur bestimmte von Trypsin gespalten, andere bleiben unangegriffen (E. Fischer und E. Abderhalden, Z. f. phys. Chem., Bd. 46, 1905). Auch das nach Abderhaldens Vorschlag dargestellte tyrosinreiche Seidenpepton eignet sich gut zum Trypsinnachweis, da in neutraler Lösung von ihm in ganz kurzer Zeit Tyrosin abgespalten wird und sich infolge seiner Schwerlöslichkeit in Kristallform ausscheidet.

β) Labferment. Wie häufig mit proteolytischen Fermenten findet sich auch mit dem Trypsin ein milchkoagulierendes Labferment vergesellschaftet. Auch bezüglich dieses Fermentes ist es zweifelhaft, ob es sich um ein besonderes Ferment oder um eine Wirkung des Trypsins auf Kasein handelt (vgl. den Artikel „Magen“). Schon früher ist das Labferment in Pankreasextrakten von Hund, Schwein, Pferd, Rind und anderen Tieren nachgewiesen worden (Kühne, Ellenberger und Hofmeister). Im Pankreassaft des Menschen ist seine Anwesenheit erst vor kurzem von Wohlgemuth sichergestellt worden. Es ist darin als Zymogen enthalten und wird erst durch Salzsäure oder Darmsaft aktiviert.

3b) Wirkungen auf Kohlenhydrate. α) Die stärkespaltende Wirkung von Pankreasextrakten ist schon im Jahre 1844 von Valentin und 1846 unabhängig davon von Bouchardat und Sandras, also

mehr als 10 Jahre vor dem Trypsin entdeckt worden. Es handelt sich um die Wirkung eines Fermentes, das Pankreasdiastase (oder weniger gut Amylopsin) genannt wird und, wie zahlreiche Untersuchungen ergeben haben, ein regelmäßiger Bestandteil des Pankreassaftes ist. In Säften und Extrakten vom Pankreas der Säugetiere hat man es ebenso wie bei Vögeln (Langendorff, Paira-Mall) angetroffen. Sichere Befunde darüber, daß ein Zymogen der Pankreasdiastase abgesondert wird, sind nicht gemacht worden, man nimmt also allgemein an, daß das Ferment als solches von der Drüse sezerniert wird. Gewisse Unterschiede scheinen bezüglich des Diastasenreichtums bei verschiedenen Tierarten zu bestehen (Grützner). Durchgängig hat man dem Schweinepankreas die größte diastatische Wirksamkeit zugesprochen. Auch bestehen bezüglich des Fermentreichtums der Drüse je nach dem Stadium der Verdauung Verschiedenheiten.

Die Wirkung der Pankreasdiastase ähnelt in verschiedener Hinsicht der der Speicheldiastase, so daß man beide, einer weitverbreiteten Anschauung entsprechend, als einander sehr ähnlich oder direkt identisch bezeichnen kann. Hierfür spricht die große Steigerung der Wirkungen beider Fermente durch NaCl, durch alkohollösliche, kochbeständige, in Lymphe, Blut und Organpreßsäften enthaltenen Aktivatoren (Wohlgemuth, Biochem. Z., Bd. 33, 1911), ihre Empfindlichkeit gegen Säuren und Alkali u. a. m.

Die Wirkung der Pankreasdiastase ist überaus kräftig, angeblich sogar noch kräftiger als die des Speichelptyalins, so daß die Verzuckerung von Stärkekleister beinahe momentan stattfinden kann. Galle und speziell gallensaure Salze befördern ihre Wirkung, das Optimum derselben wird bei verschiedenen Temperaturen angegeben, nach Slosse und Limbosch liegt es zwischen 36 und 40°, nach Roberts zwischen 30 und 45°.

β) Die Pankreasdiastase baut Stärke über Dextrine zu Maltose ab. Die weitere Spaltung in 2 Mol. Traubenzucker wird durch ein weiteres, ebenfalls im Bauchspeichel enthaltenes Ferment, die Maltase (Hamburger, Bierry und Terroine), bewirkt (bestritten von Glaessner, Slosse und Limbosch).

γ) Ueber das Vorkommen eines Milchzuckerspaltenden Fermentes, einer Laktase, gehen die Ansichten noch auseinander. Es scheint, daß bei Verabreichung von Milchzucker in der Nahrung tatsächlich Laktase vom Pankreas gebildet wird (Weinland, Z. f. Biol., Bd. 38, 1899), Bainbridge, Martinelli). Plimmer sowie Ibrahim u. a. konnten sich hiervon nicht überzeugen. Da auch hier meist mit Drüsenextrakten gearbeitet worden ist, ist es fraglich, ob Laktase, falls sie überhaupt im Pankreas auftritt, in das Sekret gelangt, oder nur als Endoenzym aufzufassen ist.

3c) Wirkung auf Fette. Die fettspaltende Wirkung des Pankreassaftes ist an das Vorhandensein einer Lipase, Steapsin, gebunden, sie ist für die Fettspaltung (Fett in Glycerin und Fettsäuren) im Darm von außerordentlicher Bedeutung, da ihr hierbei zweifellos die Hauptarbeit zukommt. Berthelot war es, der am Monobutyrin die Wirkung zuerst genauer erforschte und als einen hydrolytischen Vorgang erkannte, während früher das Hauptgewicht auf die gleichzeitig erfolgende Emulgierung des Fettes (Eberle 1834, Cl. Bernard) gelegt worden war. Im Verlauf zahlreicher Untersuchungen hat sich ergeben, daß Pankreasextrakt nicht allein Fett, sondern zahlreiche organische Säureester zu spalten vermag (z. B. Essigester, Benzoesäurephenylester u. a.). Es bleibt dahingestellt, ob es sich hierbei bloß um die Wirkung des Steapsins oder noch anderer Fermente, Esterasen (Euler), handelt.

Das Steapsin dürfte als Zymogen, aktivierbar durch Darmsaft (Enterokinase) und gallensaure Salze (vgl. unten), im Pankreassaft enthalten sein und ist darin und in Pankreasextrakten zahlreicher Säugetiere und Vögel sowie im Hepatopankreas des Karpfens nachgewiesen worden.

Steapsin ist sehr empfindlich, so daß es nur gelingt, aus frischen Drüsen wirksame Extrakte zu gewinnen (Grützner), vor allem zerstört Auftreten von Säure (etwa infolge bakterieller Prozesse) sofort seine Wirksamkeit. Auch Steapsinlösungen sind sehr empfindlich, so schwächt sich ihre Wirkung bei mehrstündigem Stehen bei Zimmertemperatur ab (Visco).

Die Wirkung des Steapsins wird durch die Anwesenheit von Galle ganz bedeutend gefördert. Als wirksame Bestandteile der Galle sind durch v. Fürth und Schütz (Hofmeisters Beitr. Bd. 9, 1907) die Cholate erkannt worden (s. a. Terroine, Soc. Biol. 1910/11). Sorgfältige Untersuchungen der genannten und anderer Autoren machen es wahrscheinlich, daß die gallensauren Salze die Umwandlung von Steapsinzymogen in Steapsin wesentlich beschleunigen, also die Rolle des Aktivators auszuüben haben.

4. Die Absonderung des Pankreassaftes.

4a) Histologische Veränderungen. Bei der Absonderung des Bauchspeichels erleiden die Zellen der Pankreasdrüse Veränderungen (Cl. Bernard, Heidenhain,

Kühne und Lea), die vielfach an die der Speicheldrüsen während der Sekretion erinnern. Die Sekretion beruht auf einer Eigentätigkeit der Drüsenzellen, die die im Blute nicht enthaltenen spezifischen Bestandteile, speziell die Fermente des Pankreassaftes bilden und absondern und die auch an der Wasserabsonderung aktiv teilnehmen.

Während der Sekretionspausen werden in den Zellen Sekretgranula gebildet. Diese erscheinen dunkel, sind eosinophil und häufen sich in dem lumenseitigen Teil der Zellen an. Der basale Teil der Zellen ist schmäler und frei von Sekretgranulis, erscheint aber schwach streifig. Die Zellen sind dabei groß und ihre Grenzen undeutlich, das Lumen der Drüsenendstücke ist schmal, ihre Oberfläche glatt und die Zellkerne sind nur schwach sichtbar Fig. 4 B. Während der

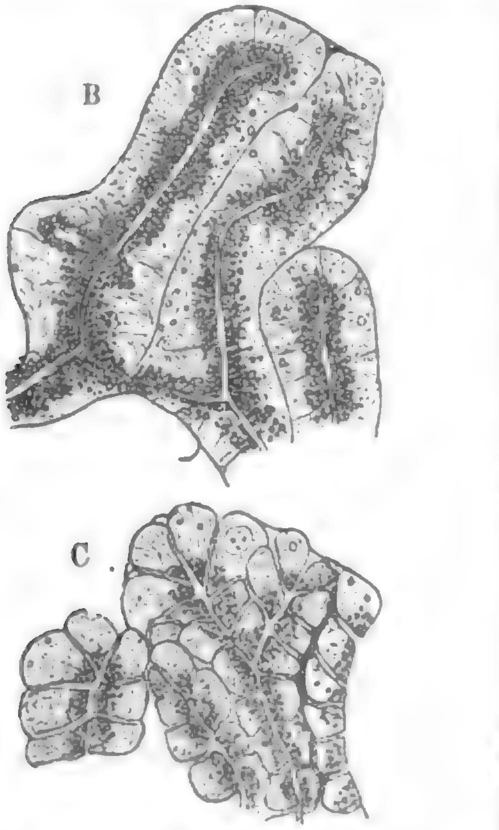


Fig. 4. B Ruhendes, nicht absonderndes Pankreas. C Tätiges, absonderndes Pankreas. Nach Kühne und Lea.

Sekretion werden die Körnchen der lumenseitigen Partie unter Verflüssigung in das Lumen ausgestoßen. Auch werden die Sekretgranula heller, fließen zu Vakuolen zusammen und neue Granula rücken vom basalen Zellteile nach. Infolge der fortwährenden Entleerung wird während der Verdauung die lumenseitige Zone ärmer an Sekretgranulis und schmäler als die Außenzone, die dann eine deutliche Längsstreifung aufweist. Dabei werden die Zellen kleiner, ihre Grenzen werden deutlicher sichtbar und die Oberfläche der Drüsenendstücke ist nicht mehr glatt, sondern zeigt zwischen den einzelnen Zellen Einkerbungen (Fig. 4 C).

Der Zustand der größten Sekretleere der Zellen ist etwa in der 6. bis 10. Verdauungsstunde erreicht. Danach beginnt wieder die Produktion von Sekretgranulis zu überwiegen und die Zellen füllen sich von neuem.

Dem von den Zellen produzierten Sekret wird bei einigen Tierarten noch Schleim durch im Epithel der größeren Ausführungsgänge befindliche Becherzellen beigemischt, in den Wandungen dieser Gänge finden sich auch manchmal Drüschen, die ein teils schleimiges teils seröses Sekret liefern.

Die Sekretgranula müssen die Vorstufen der Fermente des Bauchspeichels enthalten. Es kann nicht zweifelhaft sein, daß während der Sekretion auch schon wieder neues Material zu ihrer Bildung von den Zellen dargestellt wird. Besonders wird dies bei den Tieren nötig sein, bei denen wir, wie noch weiter unten auseinandergesetzt wird, eine dauernde Bauchspeichelsekretion annehmen müssen. Es sind dies die Pflanzenfresser. Sicherlich werden auch da in irgendeiner Beziehung zur Nahrungsaufnahme bestehende Perioden vermehrter und verminderter Sekretion zu beobachten sein. Ein weites, noch kaum bearbeitetes Gebiet liegt hier vor.

4b) Sekretionsreize und Innervation. Die Absonderung des Pankreassaftes wird in erster Linie durch chemische Reize hervorgerufen, die auf die Darmschleimhaut einwirken. Diese können durch Reizung der Endungen zentripetaler Nerven reflektorisch Sekretion veranlassen. Ferner können aufgesaugte oder während der Aufsaugung in der Darmschleimhaut entstehende und auf dem Blutwege in die Drüse gelangende Substanzen auf reflektorischem Wege Sekretion hervorrufen oder aber die Drüsenzellen direkt zur Absonderung veranlassen. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung muß der letztgenannten, der direkten Reizungsart eine große Bedeutung beigemessen werden, so daß also die normale Sekretion gleichzeitig auf nervösem und humoralem Wege hervorgerufen wird (vgl. bei Pawlow, ferner auch Bylina, Pflügers Arch., Bd. 142, 1911).

Auf nervösem Wege können, wie sehr ausführliche und sorgfältige Versuche, die vor allem im Pawlowschen Laboratorium durchgeführt worden sind, gelehrt haben, dem Pankreas durch zentrifugale Fasern der Nn. vagi und splanchnici sekretionserregende Reize zugeführt werden. Reizung des peripheren Stumpfes des einen oder des anderen Nerven ruft unter bestimmten Kautelen (bei Vagusreizung oft mit einer gewissen Latenzzeit) Sekretion oder Steigerung derselben hervor. Doch dürfte der N. vagus reicher an sekretorischen Fasern als der N. splanchnicus sein (Pawlow). Beide Nerven führen außer zentripetalen Fasern

Digitized by Google

auch zentrifugale hemmende Fasern, so daß unter Umständen auch eine reflektorische Sekretionshemmung, z. B. bei Reizung irgendeines sensiblen Nerven, erfolgen kann.

Die Versorgung durch cerebrale Nerven macht es wahrscheinlich, daß auch die Psyche einen Einfluß auf die Pankreasabsonderung hat. Im Hinblick auf die innigen Beziehungen der Pankreassekretion zur sekretorischen und mechanischen Magenfunktion und deren außerordentlich weitgehende Beeinflussung durch psychische Vorgänge ist zum mindesten ein mittelbarer Einfluß des Großhirns auf die Pankreassekretion von vornherein anzunehmen. Jedoch zeigt der Befund daß bei Hunden schon 1 bis $1\frac{1}{2}$ Minuten nach der Nahrungsaufnahme (ehe also ein Uebertritt von Nahrung in den Darm erfolgt), und auch bei Scheinfütterung eine bis 15 Minuten anhaltende Pankreassaftsekretion eintritt, daß eine direkte psychische Sekretion besteht (Pawlow, Cohnheim, Münch. med. Wochenschr. 1907).

Als wichtigster Sekretionsreiz von der Darmschleimhaut aus ist die Berührung mit den sauren Magenentleerungen, speziell mit Salzsäure (aber auch jeder anderen Säure) zu nennen (Pawlow). Jeder aus dem Magen austretende Inhaltsguß ruft Pankreassaftsekretion hervor und die Menge des abgesonderten Bauchspeichels ist von der Größe und der Azidität des Gusses abhängig. Einführen von Säure in den Magen oder in den Darm ruft Steigerung der Sekretion hervor, durch Alkalisieren des Mageninhalts mit Na_2CO_3 oder durch Einspritzen einer Lösung dieses Salzes in den Darm wird die Pankreassekretion vermindert oder unterdrückt. Die innige Wechselwirkung, die zwischen der Azidität des Mageninhaltes sowie der Beschaffenheit der Magenentleerungen und der des Darminhaltes einerseits und der motorischen Tätigkeit des Magens andererseits besteht und in den Pylorusreflexen zutage tritt, erstreckt sich also auch auf die Absonderung des Pankreassaftes. Nach London und Schwarz ist der Reiz nicht nur vom Duodenum, sondern auch vom Jejunum auslösbar, so daß etwa $^2/_3$ des Darmes zur Reizaufnahme befähigt wären (Z. f. phys. Chem., Bd. 68, 1910).

Ein weiterer sekretorischer Reiz wird durch die Berührung des Darmes mit den bei der Verdauung auftretenden Seifen und Fettsäuren ausgeübt, während die neutralen Fette selbst keine Steigerung der Pankreassekretion hervorrufen (Studnitzki, Int. Beitr. z. Path. u. Ther. d. Ernährungsstör., Bd. 3, 1911). Auch Wasser, Alkohol, Gewürze (Pfeffer, Senf), Chloroform regen vom Dünndarm aus die Pankreassekretion an.

Da auf den Säurereiz auch nach beiderseitiger Durchschneidung der Nn. vagi und sympathici, sowie nach Zerstörung der Bauchganglien und des Rückenmarks Sekretion erfolgt, nahm man an, daß es sich um eine reflektorische Erregung sekretorischer Nerven, deren Zentren die intraglandulären Ganglien sein könnten, handele (Popielski, Pflügers Arch., Bd. 86, Wertheimer und Lepage, Journ. phys. path., Bd. 3, 7). In der Tat machen neuere Befunde von Wertheimer und Boulet (Soc. Biol., Bd. 71, 1911) einen solchen Reflex wahrscheinlich, da die nach Durchschneidung der Vagi, des thorakalen Sympathicus und Abtragung des größeren Teiles des Rückenmarks auf $BaCl_2$-Injektion einsetzende Sekretion durch Atropin gehemmt werden kann. Neben einer solchen reflektorischen Erregung der Saftsekretion kommt aber sicher eine direkte Erregung der Drüsenzellen durch auf dem Blutwege zu ihnen gelangende Substanzen in Frage.

Bayliss und Starling (Journ. of Phys., Bd. 28, 1902) zeigten nämlich, daß die Sekretion auch von einer von jeder äußeren Innervation getrennten Schlinge des oberen Dünndarmdrittels durch HCl-Injektion ausgelöst werden konnte. Sie schlossen daraus, daß ein sekretionserregender Körper dabei in der Darmwand entstehe, in das Blut gelange und von dort aus wirken müsse. Es gründete sich hierauf die Lehre von den Sekretinen, die in der Darmschleimhaut durch Berührung mit Salzsäure usw. aus Prosekretin entstehen sollen und über die im Artikel „Darm" schon berichtet worden ist.

Die Bedeutung der Sekretine für die Pankreassekretion ist sicher eine sehr große. Die Frage nach dem dabei ablaufenden Sekretionsmechanismus kann noch nicht als völlig geklärt angesehen werden. Sicher ist nur, daß Einspritzung von Extrakten der Darmschleimhaut (Duodenum und Jejunum) mit HCl und anderen Substanzen Saftsekretion zur Folge hat. Die Tatsache, daß durch Atropin keine Hemmung der durch Sekretininjektion veranlaßten Sekretion eintritt, spricht sehr für deren Zustandekommen durch direkte Reizung der Drüsenzellen ohne Mitwirkung von Nerven.

Was das Sekretin selbst anlangt, so dürfte es sich nicht um einen einheitlichen Körper, sondern um verschiedene oder eine Gemenge solcher handeln (v. Fürth und Schwarz, Pflügers Arch., Bd. 124, 1908), auch Cholin (Schwarz, Zentralblatt für Phys., Bd. 23) könnte ein Rolle dabei spielen.

Substanzen, die Pankreassekretion hervorzurufen vermögen, sind durch saure und andere Extraktionsmittel aus zahlreichen Organen und auch aus der Darmschleimhaut extrahiert worden.

Fleig bezeichnet diese Substanzen als Krinine und extrahierte mit Seifenlösungen aus Darmschleimhaut „Sapokrinin" mit Alkohol

Digitized by Google

„Aethylkrinin", Falloise mit Chloralhydrat „Chloralsekretin".

Wie der durch solche und ähnliche Substanzen veranlaßte Sekretionsmechanismus ist, ist strittig. Ein Teil der Autoren hält an der Mitwirkung nervöser Elemente fest, andere leugnen dies.

Besondere Anschauungen hat in zahlreichen Arbeiten Popielski, Pflügers Arch. 120/121ff. geäußert. Er nimmt als Voraussetzung der Sekretion Blutdrucksenkung durch eine in den Extrakten enthaltene im Körper weit verbreitete Substanz „Vasodilatin" und Herabsetzung der Gerinnungsfähigkeit des Blutes an. Jedoch haben diese Anschauungen keinen Anklang gefunden und sind bestritten (vgl. Zunz, Arch. int. de Phys., Bd. 8).

4c) Abhängigkeit der Sekretion von Tierart und Nahrung. Die nahen Beziehungen zwischen Magenentleerung und Pankreassaftsekretion machen es von vornherein erklärlich, daß bei verschiedenen Tierarten der Ablauf der Pankreassaftabsonderung verschieden sein und mit der Häufigkeit der Nahrungsaufnahme und der Dauer der Magenverdauung Hand in Hand gehen muß. Beim Menschen und Carnivoren findet die Sekretion während der Verdauung statt, während in den Verdauungspausen auch das Pankreas ruht und nur die von Boldyreff entdeckte periodische Hungertätigkeit ausübt. Bei der Nahrungsaufnahme beginnt die Sekretion bald, erreicht ein Maximum, welches von der Art der Nahrung abhängig ist, und klingt bis zum Ende der Verdauung ab. Beim Pflanzenfresser hingegen nimmt man eine kontinuierliche Pankreassekretion an (Henry und Wollheim, Pflügers Arch., Bd. 17, 1877, Colin). Unter Hinweis auf den Artikel „Magen" sei daran erinnert, daß bei den Herbivoren der Magen normaliter niemals leer wird, also auch dauernde Magenentleerungen stattfinden, die die Pankreassekretion anregen und im Gang halten. Daß dabei ein mit Nahrungsaufnahme, eventuellen Wiederkauperioden usw. Hand in Hand gehendes periodisches Ansteigen und Absinken der Absonderung ablaufen wird, erscheint unzweifelhaft.

Die Zusammensetzung des Pankreassaftes ist wesentlich abhängig von der Art des Reizes, die unter normalen Verhältnissen naturgemäß mit der Nahrung zusammenhängt (Pawlow). Den Einfluß der Art des Reizes zeigen zahlreiche Untersuchungen, von denen hier nur auf die von Walther, Arch. des Soc. biol. St. Petersbourg, Bd. 7, 1899, Bylina l. c., Babkin und Sawitsch, Z. f. phys. Chem., Bd. 56, 1908, verwiesen sei.

Der bei Reizung der Vagi abgesonderte Saft ist reich an Ferment und festen Bestandteilen. Bei einer durch HCl hervorgerufenen Sekretion ist er hingegen arm daran und zeigt einen hohen Alkaleszenzgrad. Man erkennt schon hieraus, in wie mannigfaltiger Weise die Zusammensetzung des Bauchspeichels variieren kann und unter normalen Verhältnissen je nach dem Anteil der nervösen und humoralen Erregung variieren muß. Vor allem von der Pawlowschen Schule (Walther) sind Untersuchungen bekannt geworden, nach denen eine weitgehende Anpassung der Absonderung und des Fermentgehaltes des abgesonderten Saftes an die Zusammensetzung der Nahrung besteht. So sollte nach Fleisch etwas weniger Saft als nach Brot, am wenigsten nach Milchfütterung abgesondert werden. Auch sollte nach Brotfütterung der Saft reich an Diastase und arm an Steapsin, nach Milch hingegen umgekehrt reich an Steapsin und arm an Diastase sein usw. Dieser Auffassung ist aber von verschiedener Seite energisch widersprochen worden. Wohlgemuth, Berl. klin. Wochenschr. 1907, beobachtete auch Verschiedenheiten, indem nach Kohlenhydratkost die größte, nach Fettgabe die kleinste Saftmenge sezerniert wurde und die bei Eiweißnahrung ergossene in der Mitte stand. Die abgesonderte Fermentmenge richtete sich aber nicht nach der Art der Nahrung, sondern war um so geringer, je mehr Saft abgesondert worden war, und umgekehrt. Auch Hirata, Bioch. Z. 1910, fand bei Hunden, daß sich der Fermentreichtum umgekehrt wie die Menge des abgesonderten Saftes verhielt und auch Popielski, Deutsche med. Wochenschr. 1910, Glaessner, Z. f. phys. Chem., Bd. 40, Bradley, Journ. Biol. Chem. Bd. 6, 1909, Lombroso, Bompiani und Rinaldini und andere haben der Waltherschen Auffassung widersprochen. Besonders wichtig erscheinen die Befunde von Mazurkiewicz (Pflügers Arch., Bd. 121, 1908), der feststellte, daß bei ein und derselben Nahrung die Absonderungsgröße und damit der Gehalt an festen Stoffen selbst im Laufe eines Versuches erheblich wechselte. Gesetzmäßigkeiten zu konstruieren ist man meiner Meinung nach also schwerlich berechtigt. Deshalb dürften auch die Londonschen Versuche und Befunde an Fistelhunden, nach denen auch die Pankreassekretion nach Quadratwurzelgesetzen ablaufen soll, kein wirklich klares Bild des ursächlich höchst komplizierten Sekretionsvorganges geben. So geben z. B. London und Golmberg (Z. f. phys. Chem., Bd. 68, 1910) an, daß die Menge des Pankreassaftes direkt proportional der Wurzel aus der auslösenden Magensaftkonzentration sei, während die Alkalinität ihr umgekehrt proportional sein soll.

5. Die innere Sekretion des Pankreas. Von großer Bedeutung für den Kohlenhydratstoffwechsel ist die jetzt allgemein

Digitized by Google

anerkannte innere Sekretion des Pankreas, die als eine Funktion der Langerhansschen Inseln angesehen wird. Totalexstirpation des Pankreas ruft bei Hunden eine zum Tode führende Zuckerharnruhr hervor, die bei partieller Exstirpation oder bei Belassung eines kleinen Stückes Pankreas im Körper unterbleibt. Näheres vgl. in den Artikeln „Secretion“ und „Leber“.

6. Die Bedeutung des Pankreas für die Verdauung. Sie liegt in der Produktion von zahlreichen Verdauungsfermenten. In den anderen Verdauungssäften finden sich stets nur Fermente, die auf einzelne Nährstoffgruppen eingestellt sind. Im Bauchspeichel dagegen sind, wie oben geschildert, Fermente für alle in Frage kommenden Nährstoffe vorhanden. Das Pankreas ist also zweifellos die wichtigste Verdauungsdrüse, der Bauchspeichel der Verdauungssaft par excellence, der im Verein mit Galle und Darmsaft dem Dünndarm, speziell dessen oralem Abschnitte, seine dominierende Stellung im Verdauungsapparate verleiht. Allerdings ist der Pankreassaft nicht unentbehrlich, wird er nach außen abgeleitet, so bleiben die Individuen am Leben, wieder ein Zeichen für das außerordentliche Kompensationsvermögen des Verdauungsapparates. Die Bedeutung des Pankreas als Produzent innerer Sekrete, die vielleicht auch für die Resorption der Nahrung von Bedeutung sind, sei hier nur angedeutet.

Literatur. **E. Abderhalden,** *Lehrbuch der physiologischen Chemie. Berlin-Wien 1910.* — **W. Biedermann,** *Vergl. Physiologie der Verdauung in Wintersteins Handbuch, Bd. 2, T. 1. Jena 1911.* — **W. Boldyreff,** *Einige neue Seiten der Tätigkeit des Pankreas. Asher Spiros Ergebn. der Physiologie. Bd. 11. Wiesbaden 1911.* — **O. Cohnheim,** *Die Physiologie der Verdauung und Ernährung. Berlin-Wien 1908.* — **Derselbe,** *Die Bedeutung des Dünndarms für die Verdauung (Sammelreferat). Biochem. Zentralbl. Bd. 1. 1902.* — **Derselbe,** *Verdauung in Nagels Handbuch der Physiologie. Bd. 2, Teil 2. Braunschweig 1906.* — **W. Ellenberger,** *Handbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie. Bd. 3. Berlin 1911.* — **Ellenberger und Baum,** *Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haussäugetiere. Berlin 1910.* — **K. Glaessner,** *Ueber den menschlichen Pankreassaft. Z. f. phys. Chem. Bd. 40, D. Arch. f. klin. Med. Bd. 94. 1908.* — **Frerichs,** *Verdauung in Wagners Handwörterbuch der Physiologie. Bd. 3, Teil 1. Braunschweig 1846.* — **O. Hammarsten,** *Lehrbuch der physiolog. Chemie. Wiesbaden 1910.* — **R. Heidenhain,** *Physiologie der Absonderungsvorgänge. Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. V. 1883.* — **W. Kühne,** *Ueber die Verdauung der Eiweißstoffe durch den Pankreassaft. Virchows Arch. Bd. 39. 1867.* — **O. Langendorff,** *Versuche über die Pankreasverdauung der Vögel. Arch. f. Physiol. 1879.* — **E. S. London,** *Operative Technik usw. Abderhaldens Handbuch der Biochemie. Bd. 3, Teil 1. Berlin-Wien 1910.* — **R. Maly,** *Verdauung in Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. V. 1883.* — **A. Oppel,** *Lehrbuch der vergl. mikroskop. Anatomie. Bd. III. Wiesbaden-Jena 1900.* — **C. Oppenheimer,** *Die Fermente und ihre Wirkungen. Leipzig 1909.* — **J. P. Pawlow,** *Die Arbeit der Verdauungsdrüsen. Wiesbaden 1898.* — **Derselbe,** *Die äußere Arbeit der Verdauungsdrüsen in Nagels Handbuch der Physiologie. Bd. 2, Teil 2. Braunschweig 1906.* — **Derselbe,** *Asher Spiros Ergebnisse der Physiologie 1902. Bioch. Ablg.* — **S. Rosenberg,** *Die Physiologie der Bauchspeicheldrüse. (Sammelreferat.) Biochem. Zentralbl. Bd. II. 1903.* — **Derselbe,** *Pankreas und sein Sekret in Oppenheimers Handbuch der Biochemie. Bd. 3, Teil 1. Jena 1910.* — **Tiedemann und Gmelin,** *Die Verdauung nach Versuchen. Heidelberg-Leipzig 1831.* — **E. Weinland,** *Verdauung und Resorption bei Wirbellosen in Oppenheimers Handbuch der Biochemie. Bd. 3, Teil 2. Jena 1909.* — **J. Wohlgemuth,** *Untersuchungen über den Pankreassaft des Menschen. Bioch. Z. Bd. 24, 1907. Berl. klin. Woch. 1907.*

A. Scheunert.

Pantopoda.

1. Allgemeiner Bauplan des Körpers. 2. Innere Organisation: a) Körperwand. b) Muskulatur. c) Nervensystem. d) Sinnesorgane. e) Darmkanal. f) Atmungsorgane. g) Herz. h) Exkretionsorgane. i) Geschlechtsorgane. 3. Ontogenie (Embryologie, Larvenformen, Metamorphose). 4. Oekologie.: a) Verbreitung, Aufenthalt, Nahrung. b) Fortpflanzung. c) Regenerationsvermögen. 5. Systematik und Phylogenie.

1. Allgemeiner Bauplan des Körpers. Die Pantopoda oder Pycnogonida (deutsch Asselspinnen genannt) gehören zu den Gliedertieren. Ihr Körper besteht aus einem axialen Rumpfabschnitt, der vorn einen schnabelartigen Rüssel, hinten ein Abdomen und an den Seiten freie Extremitäten trägt. Der Rumpf stellt sich als eine unregelmäßig gestaltete Walze oder Scheibe dar, die sich normalerweise aus 4 Segmenten zusammensetzt. Diese Segmente sind einander nicht gleichwertig, insofern das erste aus der Verschmelzung mehrerer Segmente hervorgegangen ist. Ihnen allen gemeinsam ist aber, daß sie sich zu beiden Seiten in laterale Fortsätze ausziehen, in welche die Extremitäten eingelenkt sind. Zwischen den einzelnen Segmenten sind weichhäutige Gelenkfalten eingeschaltet, doch ist die gegenseitige Bewegungsfähigkeit nur eine geringe. Auch können die Segmentgrenzen vielfach stark oder ganz verwischt werden.

Der Rüssel ist sehr vielgestaltig, bald lang gestreckt walzenförmig, bald oval,

Digitized by Google

bald tonnenförmig oder kurz zylindrisch. Er ist ziemlich beweglich, bald nach vorn, bald nach unten gerichtet. An der Spitze trägt er die dreieckig gestaltete, von drei Lippen umschlossene Mundöffnung. Der Hinterleib bildet eine mehr oder weniger verlängerte Walze, die entweder nach oben oder schräg nach hinten getragen wird.

Die normale Extremitätenzahl der Pantopoden beträgt sieben Paare. In ganz vereinzelten Fällen (bei Decalopoda und Pentanymphon) kann dieselbe auf acht jederseits erhöht sein, sehr viel häufiger treten aber Reduktionen in dieser Zahl auf. Die Verteilung der Extremitäten am Rumpfe ist eine derartige, daß dem 1. Rumpfsegment vier Extremitäten zukommen, und daß die drei darauf folgenden nur je eine einzige zu beiden Seiten tragen. Die 1. Extremität besitzt in ihrer ursprünglichen Form drei Glieder und eine wohlausgebildete Schere (Cheliphorus). Sie liegt vor der Mundöffnung und dient zum Ergreifen und Festhalten der Nahrung. Bei vielen Pantopoden ist sie in verschieden hohem Maße rückgebildet und kann schließlich ganz schwin-

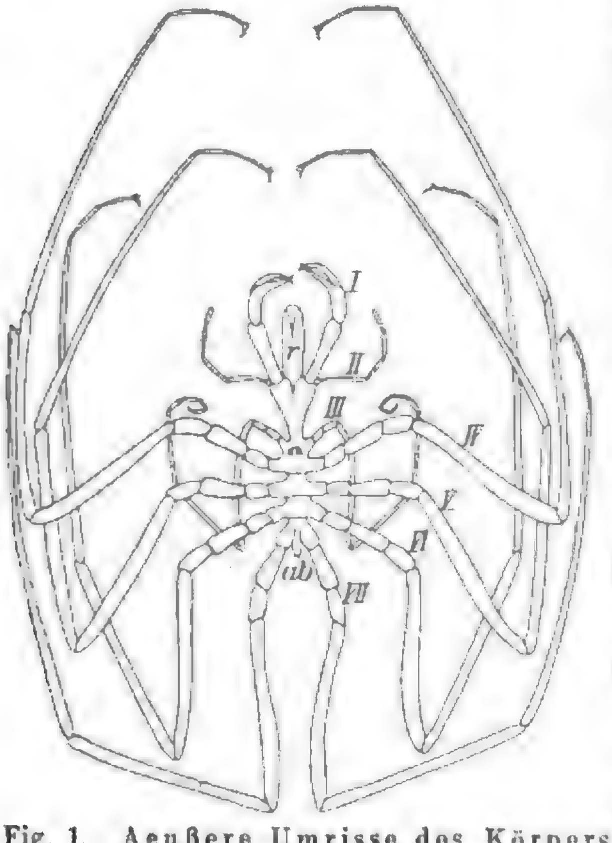


Fig. 1. Aeußere Umrisse des Körpers eines Pantopoden (Nymphon). Nach K. Möbius, Wissensch. Ergebn. d. Valdivia-Exped. 3. Bd. 1903, Taf. XXV, Fig. 1 ab Hinterleib, r Rüssel, I—VII die sieben Extremitäten.

den. Die 2. Extremität ist vielgliederig, weist im Maximum zehn Glieder auf, kann aber ebenfalls bis zum völligen Schwinden reduziert werden. Die einzelnen Glieder sind zylindrisch, die Endglieder mit Borsten und Stacheln besetzt. Sie wird ebenfalls mit ihren Endspitzen vor dem Munde gehalten und dient zum Fassen und Betasten der Beute (Palpus). Auch die 3. Extremität ist ursprünglich zehngliederig, ihre Reduktion kann nur bei Weibchen eine vollständige sein, geht aber im männlichen Geschlecht nie unter den fünfgliederigen Zustand herab. Sie wird meist auf der Unterseite des Körpers getragen, ist häufig eigenartig gekrümmt oder spiralig eingerollt, sowie mit sonderbaren Anhängen, Stacheln und Höckern besetzt. Sie wird zum Tragen der Eiersäcke verwendet und zwar ausschließlich von den Männchen (Oviger). Die 4. bis 7. Extremität (und auch die 8., wenn sie vorhanden ist) stellen die eigentlichen Gangbeine dar und sind alle sehr gleichartig gebaut. Ihre zwei bis drei kurzen Basalglieder vermitteln die Befestigung an den Seitenfortsätzen der Rumpfsegmente, bewirken außerdem infolge ihrer freien Gelenkigkeit die Vielfältigkeit der Bewegungen der ganzen Extremität. Die drei mittleren Glieder sind durch ihre große Längenausdehnung ausgezeichnet, sie ermöglichen es dem Tier, weit auszugreifen und den Körper hoch von der Unterlage abzuheben. Die Endglieder endlich sind als Tarsus und Kralle entwickelt, sie dienen zum Erfassen der Stützpunkte beim Kriechen.

2. Innere Organisation. 2a) Die Körperwand. Die Körperwand besteht aus Hypodermis und einer chitinösen Cuticula. Die Hypodermis setzt sich aus niederen Zellen zusammen und enthält zahlreiche Hautdrüsen, die bei den Männchen im vierten Glied aller Gangbeine zu besonderen Kittdrüsen ausgebildet sind. Die Cuticula ist stets geschichtet und wird mit zunehmendem Alter dicker. Zuweilen ist sie mit Höckern und Leisten besetzt, daneben trägt sie zahlreiche Dornen, Stacheln, Borsten und ähnliches. An ihrer Oberfläche heften sich häufig Diatomeen, Foraminiferen, Infusorien fest und bilden dann nicht selten einen förmlichen Ueberzug.

2b) Die Muskulatur. Die Muskulatur zeigt eine sehr einfache Anordnung. Die Bewegungen der Rumpfsegmente gegeneinander sind sehr begrenzt, auf Rücken und Bauch ziehen einfache Längsmuskelbündel von Segment zu Segment. Etwas stärker sind die Muskeln zur Bewegung des nach allen Richtungen drehbaren Rüssels entwickelt. Die Muskulatur der Extremitäten besteht aus Strekkern und Beugern der einzelnen Glieder und wiederholt sich überall in der gleichen Weise.

2c) Das Nervensystem. Das Nervensystem setzt sich aus einem oberen Schlundganglion, aus einer Bauchganglienkette und

Digitized by Google

aus den verbindenden Kommissuren zusammen. Von diesen zentralen Teilen gehen die peripheren Nerven ab. Und zwar wird der Rüssel teils vom oberen Schlundganglion, teils von der Bauchganglienkette aus innerviert, während die Nerven der sieben Extremitätenpaare wohl alle aus den Bauchganglien hervorgehen. Von letzteren scheint aber das erste mit dem oberen Schlundganglion verschmolzen zu sein, wie auch Verschmelzungen der Bauchganglien untereinander in wechselndem Umfang stattfinden. Nur die letzten Bauchganglien sind stets frei, ihnen schließen sich noch einige rudimentäre Ganglien an, die Nervenfasern zum Hinterleib entsenden.

2d) Sinnesorgane. Von Sinnesorganen sind neben den Trägern eines allgemeinen Tastsinnes nur die Sehorgane besonders entwickelt. Und zwar liegen die Augen auf einem von der Rückenfläche des 1. Rumpfsegmentes sich erhebenden Höcker. Ihre normale Zahl beträgt vier. Jedes derselben besteht aus einer lichtempfindlichen Retina, die auf der dem Lichte abgewendeten Seite mit Sehstäbchen versehen ist und durch eine Pigmentschicht nach innen abgeschlossen wird. Zumeist, wenn auch nicht immer, ist ferner eine lichtbrechende Linse vorhanden, die von der Hypodermis abgeschieden wird. Auf Grund der dem Lichte abgewendeten Lagerung der Sehstäbchen müssen die Augen der Pantopoden als invertierte Augen angesehen werden, wie sie in ähnlicher Weise bei Spinnen vorkommen.

2e) Darmkanal. Der Darmkanal zerfällt in vier Abschnitte, in die Mundöffnung mit den Lippenbildungen, in das innere Schnabelgerüst mit dem Reusenapparat, in den Darm mit den Blindsäcken und in den Enddarm mit der Afterspalte. Die in der Dreizahl vorhandenen Lippen sind alle gleichartig gestaltet und durch ein System komplizierter Chitinspangen besonders gestützt. Es schließt sich daran im Inneren des Rüssels ein ebenfalls chitinöses, aus langen feinen Stacheln bestehendes Gerüstwerk an, das in seiner Gesamtheit einen Reusenapparat bildet, der die aufgenommene Nahrung zerknetet und preßt. Von ihm führt eine enge Speiseröhre in den eigentlichen Mitteldarm, der als Rohr den Körper der ganzen Länge nach durchzieht und dabei in die 1. Extremität, in die vier Gangbeinpaare und zuweilen auch in den Rüssel Blindschläuche entsendet, die dem Hauptkanal in Struktur und Funktion durchaus gleichen. Jeder Blindschlauch ist durch einen besonderen Schließmuskel gegen den Hauptkanal abschließbar, aber im übrigen gleitet in allen Teilen die Nahrung infolge stetiger peristaltischer Bewegung unablässig hin und her. In ihrer Lage erhalten werden sämtliche Darmschläuche durch Bindegewebsfasern und durch eine besondere, in der Leibeshöhle ausgespannte Membran, welche sich auch in die Extremitäten fortsetzt. Histologisch besteht der Darmtraktus aus einer inneren Schicht von Darmzellen, die neben ihren Kernen zahlreiche Vakuolen und Tröpfchen enthalten, sowie aus einer äußeren Lage zarter Ringmuskelfasern. Der kurze Enddarm ist gegen den übrigen Darm durch einen Schließmuskel abgeschlossen, in ihm sammeln sich die Kotballen an, die schließlich durch den spaltförmigen, mit besonderen Muskeln versehenen After ausgestoßen werden. Es liegt der After auf der Spitze des Hinterleibs.

2f) Atmung. Die Atmung erfolgt wahrscheinlich durch besondere Hautporen, nicht durch Wasseraufnahme vermittels des Afters, wie man früher annahm.

2g) Herz. Das Herz liegt in der Mitte des Rückens und reicht vom Augenhöcker bis zum Hinterleib. Die Herzwand besteht aus Ringmuskelfasern, die dorsalwärts direkt durch die Hypodermis der Rückenfläche ersetzt werden. Die Bewegung des Blutes erfolgt in der Weise, daß das Blut im Herzschlauch bei dessen Kontraktion kräftig nach vorn und in den Körper hineingetrieben wird, worauf es bei nachfolgender Erschlaffung des Herzschlauchs durch zwei Paar seitlicher Spaltöffnungen (Ostien) wieder in denselben aus dem Körper zurückfließt.

2h) Exkretionsorgane. Als Exkretionsorgane hat man besondere Nephrocyten nachgewiesen, die als kompakte Zellenmassen an den hinteren Grenzen der drei vorderen Rumpfsegmente, in deren Seitenfortsätzen oder auch zerstreut im ganzen Körper liegen. Sie stellen nicht etwa Hautdrüsen dar, sondern bestehen aus rundlichen Zellen, deren Plasma zahlreiche Exkretkörner enthält und die bei intravitaler Färbung intensiv Karmin aufnehmen.

2i) Geschlechtsorgane. Die Pantopoden sind stets getrennten Geschlechts. Hoden wie Ovarien liegen als paarige Organe im Inneren des Körpers über dem Darm, durch eine besondere Membran in ihrer Lage erhalten. Hinten verschmelzen die schlauchförmigen Geschlechtsdrüsen von beiden Seiten her miteinander und senden seitwärts in die Gangbeine blind endende Nebenschläuche. In den Extremitäten liegen auch die Geschlechtsöffnungen und zwar an der Unterseite des jeweiligen zweiten Gliedes. Hinsichtlich der Zahl dieser Oeffnungen, die von ovaler Form und durch eigenartige Klappen verschließbar sind, verhalten sich beide Geschlechter verschieden. Bei den Weibchen finden sie sich an allen vier Gangbeinen, deren Glieder dann zur Zeit der Geschlechtsreife stark angeschwollen

Digitized by Google

erscheinen können; bei den Männchen fehlen sie stets am 4. Gangbein und treten an den übrigen in wechselnder Zahl und Gruppierung auf.

3. Ontogenie. Die reifen Eizellen treten in zwei Typen auf, bald sind sie klein und dotterarm, bald sehr groß und von mächtigen Dottermassen erfüllt. Es entstehen so Größenschwankungen von 0,05 mm bis zu 0,7 mm Durchmesser. Bei den kleinen Eiern ist die Furchung eine total-äquale, es kommt ferner bei ihnen zur Ausbildung einer aus gleichartigen Zellen sich zusammensetzenden Blastula, die durch eine Einstülpung in eine Gastrula umgewandelt wird. Bei den dotterreichen Eiern ist dagegen die Furchung sehr stark inäqual, sie führt zur Bildung von Mikromeren und Makromeren und geht schließlich in den superfiziellen Furchungstypus über. Und demgemäß verläuft dann hier auch die weitere Entwickelung unter Ausbildung eines Keimstreifens.

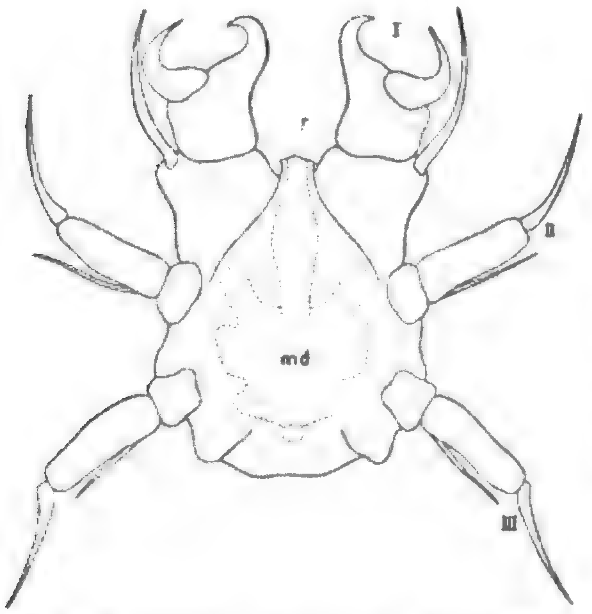


Fig. 2. Protonymphonlarve eines Pantopoden (Ammothea). Nach J. Meisenheimer, Zeitschr. wiss. Zool. 72. Bd., Taf. XIV, Fig. 13. md Mitteldarm, r der schnabelförmige Rüssel, I—III die drei Extremitätenpaare.

Aus dem jungen Keim geht in der Regel zunächst eine Larvenform hervor, die Protonymphonlarve (Fig. 2). In ihrer charakteristischen Form besteht dieselbe aus einem abgeplatteten Körper, dem vorn ein kegelförmig gestalteter Schnabel und seitlich drei Paare von Extremitäten aufsitzen. Letztere bestehen je aus drei Gliedern, von denen das basale die Verbindung mit dem Körper herstellt und an seinem Außenrand einen durchbohrten Dorn trägt, der den Ausführgang einer Drüse aufnimmt. An der 1. Extremität ist das Basalglied selbst, sein Dorn und die zugehörige Drüse weitaus am stärksten entwickelt. Mittel- und Endglied sind an den beiden hinteren Extremitäten walzenförmig bezw. klauenförmig gestaltet, an der ersten bilden sie dagegen eine wohl entwickelte Schere. Bewegt werden die Extremitätenglieder durch ein kompliziertes Muskelsystem. — Von der inneren Larvenorganisation ist zunächst das Nervensystem hervorzuheben, welches sich zusammensetzt aus oberem Schlundganglion mit Augennerven und oberem Schnabelnerven, aus einem ersten noch in der Schlundkommissur gelegenen Bauchganglion mit den Nerven der 1. Extremität und endlich aus den zu einer einheitlichen Masse verschmolzenen Bauchganglien der 2. und 3. Extremität. Unmittelbar über dem oberen Schlundganglion liegt auf der Rückenfläche das aus zwei voneinander abgewendeten Pigmentbechern bestehende Auge. Vom Darm ist Vorder- und Mitteldarm bereits wohl ausgebildet, letzterer weist auch bereits die Anlagen der in die Extremitäten sich erstreckenden Blindschläuche auf.

Die Larven vieler Pantopoden zeigen den soeben geschilderten Aufbau, sie bewegen sich zumeist schwerfällig kriechend auf ihrer Unterlage umher. Im einzelnen können dann noch mancherlei Besonderheiten auftreten, so können vor allem die Dornen der 1. Extremität oder die Klauen der beiden hinteren Extremitäten rankenförmig zu langen Fäden ausgezogen sein. Solche Formen wandern dann häufig nach Abwerfen der Rankenanhänge als Schmarotzer in den Gastrovascularraum von Hydroidpolypen ein, wo sie sich von den auskleidenden Epithelzellen nähren und hochgradige Degenerationserscheinungen an dem befallenen Polypen hervorrufen. Andere Larven schmarotzen als Ektoparasiten am Rande der Fußsohle und des Kopfsegels von Meeresschnecken. — Bei Formen mit sehr dotterreichen Eiern, wie bei Pallene, ist die Larvenform ganz unterdrückt, die Entwickelung ist dann eine direkte.

Die Metamorphose ist erst von wenigen Formen bekannt. Bei der Larve von Tanystylum wird dieselbe eingeleitet durch eine Streckung des hinteren Körperabschnittes, worauf hier das 4. Extremitätenpaar hervorknospt. Dasselbe ist viel größer als die vorhergehenden, zunächst sechsgliederig, später achtgliederig, und stellt das 1. Gangbeinpaar dar. Etwas später folgt das 2. und 3. Gangbeinpaar nach, wogegen das 3. Extremitätenpaar der Larve mehr und mehr schwindet. Das Abdomen bildet sich in seiner charakteristischen Form aus und nun erst erscheint auch das 4. Gangbeinpaar, während gleichzeitig das 2. Extremitätenpaar seine palpusartige Form an-

Digitized by Google

nimmt. Das nächste Stadium bringt den Verlust der 1. Larvenextremität, während das 3. Extremitätenpaar wieder zu wachsen beginnt und nun zu den gegliederten Eierträgern wird. Damit ist die Metamorphose, mit der natürlich auch eine beträchtliche Größenzunahme verbunden ist, im wesentlichen vollendet. Bei Phoxichilidium bleibt von den Larvenextremitäten nur das erste scherentragende Paar erhalten, die beiden folgenden werden bis auf kleine Wärzchen reduziert. Dahinter erst werden dann nacheinander die vier Gangbeinpaare angelegt. Beim Männchen bildet sich noch später genau da, wo die 3. Larvenextremität schwand, der Eierträger aus.

4. Oekologie. 4a) Verbreitung, Aufenthalt, Nahrung. Die Pantopoden sind Meerestiere, und zwar scheinen sie ziemlich gleichmäßig über alle Meere verbreitet zu sein. Früher kannte man sie hauptsächlich aus Litoralgebieten, aber die neueren Tiefseeforschungen haben sie noch in 400 bis 600 m Tiefe häufig angetroffen und einzelne Vertreter gar noch in 3000 m Tiefe nachgewiesen. Die Tiefseeformen zeichnen sich durch ihre schlankere Form, durch ihre besonders langen brüchigen Beine, sowie vielfach durch Rudimentation der Augen aus. In der Tiefsee erreichen die Pantopoden auch ihre bedeutendsten Größen. Während die Litoralformen meist nur wenige Millimeter groß sind, besitzen Tiefseepantopoden wie Colossendeis gigas eine Körperlänge von 80 mm und eine Beinlänge von 301 mm. Auffallenderweise scheinen sich viele Formen der Strandzone so gut wie ausschließlich auf bestimmten Hydroidkolonien aufzuhalten, mit denen dann die Färbung ihres Körpers oft sehr weitgehend übereinstimmt. Die Hydroidkolonien liefern ihren Bewohnern auch die Nahrung, indem ihre Hydranthenköpfchen und Gonophoren von den Pantopoden ergriffen und ausgesaugt werden. Daneben besteht die Nahrung der Pantopoden aus den Säften verschiedener Tiere, besonders der Tunicaten, auf denen sie sich vielfach aufhalten.

4b) Fortpflanzung. Eine eigentliche Begattung findet nicht statt, es scheint vielmehr die Befruchtung der Eier eine äußere zu sein. Das Männchen klammert sich an dem Weibchen fest, ergießt seinen Samen über die austretenden Eier und erfaßt dieselben sodann mit seinen Eierträgern, um sie nach der Trennung der Geschlechter mit sich bis zum Ausschlüpfen der Jungen herumzutragen. Die Eier werden dabei durch eine Kittmasse zu Klumpen vereinigt, und das Männchen schleppt von solchen Eiballen häufig eine größere Zahl mit sich herum, die aber dann alle auf verschiedenen Entwickelungsstadien stehen, also von verschiedenen Paarungen herrühren müssen. Auch die Zahl der Eier in einem Paket schwankt nach der Größe der Eier. Ein tüchtig beladenes Männchen kann bei einzelnen Arten bis zu 1000 Eier tragen.

4c) Regenerationsvermögen. Die Pantopoden verlieren sehr häufig einzelne Glieder ihrer Gangbeine und diese können dann durch Regeneration wieder ersetzt werden. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Verlust von Körperteilen ist eine sehr große; sie bleiben noch tagelang am Leben, auch wenn ihnen alle Extremitäten abgelöst oder gar der Rumpf in der Mitte durchschnitten ist. Es soll sogar eine wenn auch unvollkommene Regeneration von Rumpfteilen bei ihnen möglich sein.

5. Systematik und Phylogenie. Als die primitivsten aller Pantopoden müssen zweifellos die Formen mit der höchsten Extremitätenzahl gelten, und diese werden dargestellt durch die Gattungen Decalopoda und Pentanymphon, beide aus den antarktischen Meeren. Sie besitzen beide fünf Gangbeinpaare, während allen übrigen Pantopoden deren nur vier zukommen. Von ihnen ist weiter Decalopoda in Rücksicht auf die Entwickelung der drei vorderen Extremitätenpaare die primitivere Form, von ihr aus haben sich zwei divergente Zweige entwickelt (Cole, 1905). Der eine derselben umfaßt die Pycnogonomorpha, an deren Wurzel im besonderen Pentanymphon steht, und deren Entwickelung über die Familien der Nymphoniden, Palleniden, Phoxichilidiiden zu den Phoxichiliden und Pycnogoniden s. str. führt. Innerhalb dieser Reihe ist eine Tendenz zur fortschreitenden Reduktion der drei ersten Extremitäten festzustellen. Von den Phoxichiliden an ist die 1. Extremität mit der Schere verloren gegangen, die 2. Extremität ist schon in den Anfangsgliedern auf die halbe normale Gliederzahl reduziert und beginnt bereits bei den Palleniden ganz zu schwinden. Und die 3. eiertragende Extremität ist nur bei Nymphoniden und Palleniden noch in beiden Geschlechtern vorhanden. In der zweiten Reihe, der Reihe der Colossendeomorpha, die über die Familien der Eurycydidae und Ammotheidae zu den Pasithoidae (mit der Gattung Colossendeis) führt, macht sich eine stetig zunehmende Reduktion nur in der Scherenbildung der 1. Extremität bemerkbar, die schließlich in den Endgliedern zum Verlust der ganzen Extremität führt. Die 2. Extremität bleibt stets erhalten, ebenso finden sich überall in beiden Geschlechtern die Eierträger vor. Als bemerkenswerte Eigentümlichkeit ist dagegen in dieser Gruppe eine allmähliche Rückbildung der Rumpfsegmentierung festzustellen.

Andere Einteilungsversuche (von Schim-

Digitized by Google

kewitsch, 1906) verteilen die gesamten Pantopoden auf zwei Gruppen, auf die Chelata (Formen mit Scheren) und auf die Achela (Formen ohne Scheren). Die erstere Gruppe ist durch eine große Stabilität der ersten Extremität und Reduktion der zweiten ausgezeichnet, in der zweiten Gruppe ist umgekehrt die zweite Extremität die konstantere. Die wichtigsten Gattungen der Pantopoden seien nach diesen beiden Gruppen angeführt. Zu den Chelata gehören: Decalopoda, Pentanymphon, Nymphon, Paranymphon, Boreonymphon, Chaetonymphon, Pallene, Pallenopsis, Phoxichilidium, Anoplodactylus. Zur Gruppe der Achela würden zu rechnen sein: Eurycyde, Ascorhynchus, Ammothea, Barana, Tanystylum, Colossendeis, Discoarachne, Pycnogonum, Phoxichilus. Wenn man von den beiden letzten Gattungen absieht, würden sich also die Chelata ungefähr mit den Pycnogonomorpha, die Achela mit den Colossendeomorpha decken.

Hinsichtlich der phylogenetischen Ableitung der Pantopoden hat man sich früher mehr der Annahme einer näheren Verwandtschaft mit den Spinnen zugeneigt, wogegen man sie neuerdings eher den Krebsen angliedern möchte, und zwar in erster Linie wegen der nahen Beziehungen der Protonymphonlarve zur Naupliuslarve. Wahrscheinlich besaßen Krebse und Pantopoden gemeinsame Vorfahren in Gestalt annelidenartiger Formen mit großer Körpersegmentzahl, und in Rücksicht auf letzteren Punkt ist die vor wenigen Jahren erfolgte Entdeckung von Pantopoden mit einer größeren Segmentzahl als man sie bis dahin kannte, von einer grundlegenden Bedeutung gewesen.

Literatur. **L. J. Cole,** *Notes on the habits of Pycnogonids. Biol. Bullet. vol. 2, 1901.* — **L. J. Cole,** *Ten-legged Pycnogonids, with remarks on the classification of the Pycnogonida. Annals Mag. Nat. Hist. (7) vol. 15, 1905.* — **A. Dohrn,** *Die Pantopoden des Golfes von Neapel. Fauna und Flora Neapels. 3. Monogr. 1881.* — **P. Hallez,** *Observations sur le parasitisme des larves de Phoxichilidium. Arch. Zool. exp. génér. (4) tome 3, 1905.* — **T. V. Hodgson,** *On Decalopoda australis. Proc. Roy. Phys. Soc. Edinburgh. vol. 16, 1905.* — **T. V. Hodgson,** *On a new Pycnogonid from the South Polar Regions. Ann. Mag. Nat. Hist. (7) vol. 14, 1904.* — **P. P. C. Hoek,** *Report on the Pycnogonida. Rep. Scient. Res. Challenger. Zool. vol. 3, 1881.* — **P. P. C. Hoek,** *Nouvelles études sur les Pycnogonides. Arch. Zool. exp. génér. tome 9, 1881.* — **A. Kowalevsky,** *Ein Beitrag zur Kenntnis der Exkretionsorgane der Pantopoden. Mém. Acad. Sc. St. Pétersbourg (7) tome 38, 1892.* — **R. von Lendenfeld,** *Die Larvenentwicklung von Phoxichilidium plumulariae. Zeitschr. wiss. Zool. 38. Bd., 1883.* — **J. C. C. Loman,** *Biologische Beobachtungen an einem Pantopoden. Tijdschr. Nederl. Dierk. Ver. (2) Deel. 10, 1908.* — **J. Meisenheimer,** *Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Pantopoden. I. Zeitschr. wiss. Zool. 72. Bd., 1902.* — **H. Merton,** *Eine auf Tethys leporina parasitisch lebende Pantopodenlarve. Mitt. Zool. Stat. Neapel, 18. Bd., 1906.* — **K. Möbius,** *Die Pantopoden. Wissensch. Ergebn. der Deutschen Tiefsee-Expedition auf der Valdivia 3. Bd., 1903.* — **T. H. Morgan,** *A contribution to the embryology and phylogeny of the Pycnogonids. Stud. Biol. Labor. J. Hopkins Univ. vol. 5, 1891.* — **G. O. Sars,** *Pycnogonida. The Norweg. North-Atlant. Exped. 1876 bis 78, Christiania 1891.* — **Wl. Schimkewitsch,** *Ueber die Periodicität in dem System der Pantopoda. Zool. Anz. 30. Bd., 1906.*

J. Meisenheimer.

Papin

Denis.

Geboren am 22. August 1647 in Blois, gestorben um das Jahr 1714 in England, nach anderen Angaben in Deutschland. Er studierte Medizin und praktizierte kurze Zeit in Paris, wandte sein Interesse dann der Physik zu und wurde Gehilfe bei Huygens, verließ 1665 Paris, da er Calvinist war, und wandte sich nach London, wo er in den Jahren 1680 und 1681 bei Boyle arbeitete, kehrte nach kurzem Aufenthalt bei Sarotti in Venedig nach London zurück; 1688 wurde er von dem Landgrafen von Hessen zum Professor in Marburg ernannt, wo er bis 1707 blieb; seine weiteren Schicksale sind unbekannt. Schon seine erste Schrift enthält die Beobachtung, daß die Siedetemperatur des Wassers vom Luftdruck abhängt. 1681 konstruierte er den Dampfkochtopf, 1695 eine Dampfmaschine, mittels der er ein Boot mit Ruderrad bewegte; mit diesem befuhr er 1707 die Fulda, kam aber nur von Kassel bis Münden, wo es ihm von Schiffern zertrümmert wurde.

Literatur. **La Saussaye und Péan,** *La vie et les ouvrages de Denis P., Lyon 1869, 1. Band.* — **Ernouf,** *Denis P., sa vie et son œuvre. Paris 1874.*

E. Drude.

Paracelsus

Philippus Aureolus Paracelsus Theophrastus Bombastus von Hohenheim.

Geboren am 17. Dezember 1493 zu Maria-Einsiedeln, Kanton Schwyz; gestorben am 24. September 1541 zu Salzburg. Sein Vater soll ein natürlicher Sohn Georg Bombasts von Hohenheim, Großmeisters des Johanniterordens, gewesen sein. Nach einer sorgfältigen Erziehung bezog Paracelsus die Universität zu Basel und beschäftigte sich dort mit Medizin, Physik und Chemie. Dann wanderte er als fahrender Schüler in ganz Europa und dem Morgenland umher und machte sich als Arzt, Alchimist und Nativitätssteller bekannt. Die Kenntnis von

Digitized by Google

mancherlei Heilmitteln, die er sich dabei aus allen Schichten des Volkes angeeignet hatte, brachte ihn mit den Aerzten der alten Schule in solchen Gegensatz, daß er sich als Lehrer der Arzneikunst zu Basel (1526) nicht lange halten konnte. Er begann wieder umherzuschweifen und starb schließlich an den Folgen eines Unfalles im Stephanshospital zu Salzburg.

Seine zahlreichen Schriften hat er meist deutsch geschrieben; er war übrigens auch der erste, der seine Vorlesungen in deutscher Sprache abhielt. Seine Werke sind später von seinen Anhängern übersetzt, gedruckt und vielfach gesammelt worden. Bemerkenswert tritt uns daraus eine für den Hintergrund der damaligen Zeit äußerst moderne Naturphilosophie entgegen. Am meisten muß man auch heute noch seine Verdienste um die Begründung und Verbesserung der pharmazeutischen Chemie, u. a. durch Einführung einer großen Zahl mineralischer Heilmittel, anerkennen. Durch ihn wurden die gesamten Naturwissenschaften, besonders die Chemie, neu belebt.

Literatur. ***M. B. Lessing****, Paracelsus, sein Leben und Denken. Berlin 1839.* — ***Hartmann****, Grundriß der Lehren des Theophrastus Paracelsus von Hohenheim. Leipzig 1898.* — ***Strunz****, Theophrastus Paracelsus, sein Leben und seine Persönlichkeit. Jena 1904.* — ***Ersch und Gruber****, Allg. Enzykl. der Wissenschaften und Künste 1888, XI, 285.*

K. Spangenberg.

Paragenesis

ist die von Breithaupt eingeführte Bezeichnung für das in genetischer Hinsicht gesetzmäßige Nebeneinandervorkommen von Mineralien (vgl. die Artikel „Mineral- und Gesteinsbildung“ und „Erzlagerstätten“).

Parasiten.

I. Allgemeiner Teil: 1. Definition. Parasitismus und Saprophytismus. Hemisaprophytismus. 2. Ekto- und Endoparasiten. 3. Holo- und Hemiparasiten. 4. Obligatorische und fakultative Parasiten. 5. Wirtswahl und Wirtswechsel. 6. Biologische Arten. 7. Morphogene Beeinflussung des Wirts. 8. Phylogenetische Entstehung der Parasiten. II. Spezieller Teil: 1. Parasitische Schleimpilze. 2. Parasitische Bakterien. 3. Parasitische Spaltalgen. 4. Parasitische Pilze. 5. Parasitische Algen. 6. Parasitische Flechten. 7. Parasitische Phanerogamen.

I. Allgemeiner Teil.

1. Definition. Parasitismus und Saprophytismus. Hemisaprophytismus. Als parasitische, paratrophe oder Schmarotzerpflanzen bezeichnet man diejenigen Gewächse, welche andere Lebewesen befallen, sich auf oder in ihnen ansiedeln und ihnen Nahrung entziehen, ohne ihnen Gegendienste zu leisten. Die Nahrungsentnahme aus lebenden Wesen ist kennzeichnend für den Parasiten, durch sie unterscheidet er sich einerseits von denjenigen Pflanzen, welche zwar ebenfalls die äußere oder innere Körperoberfläche anderer lebender Wesen als Standort wählen, diesen aber keine Nährstoffe entziehen, andererseits von den Saprophyten, welche abgestorbene organische Massen besiedeln und sich von diesen nähren. Abgesehen vom Nahrungsentzug schädigen Parasiten die von ihnen befallenen Wesen auch dadurch, daß sie Gifte ausscheiden. Sodann veranlassen sie nicht selten abnorme Wachstumserscheinungen, Bildung von Gallen, Geschwülsten, Hexenbesen usw., und diese Folgeerscheinungen sind oft viel auffallender als die Folgen des Nahrungsentzugs allein. Im übrigen ist die Art und Weise des Parasitierens eine sehr verschiedene. Einen recht primitiven Fall führen uns beispielsweise bestimmte einzellige Schmarotzer, die Vampyrellen (s. u. II, 1), vor Augen, die sich an die lebenden Zellen von Süßwasseralgen ansetzen und sie aussaugen; hier folgt dem Angriff des Parasiten der Tod der befallenen Zelle fast unmittelbar. Einem höher entwickelten, typischen Parasitismus begegnen wir aber dann, wenn die befallenen Zellen, Gewebe, Wesen infolge des Angriffs des Parasiten überhaupt nicht, oder doch nicht alsbald absterben, wenn sich vielmehr eine länger dauernde Lebensgemeinschaft zwischen dem Parasiten und dem von ihm befallenen Wesen, seinem „Wirt“, die dem ersteren zum Nutzen gereicht, entwickelt, ein symbiotischer Parasitismus. Das Schmarotzertum von Rost- oder Brandpilzen auf höheren Pflanzen, von Misteln auf Bäumen oder Sträuchern sind allbekannte Beispiele für solch typischen Parasitismus.

Zu beachten ist, daß es mannigfache Uebergänge zwischen echtem Parasitismus und Saprophytismus gibt. Als Beispiele mögen Vertreter der Schlauchpilze dienen, z. B. der Gattung Botrytis. Diese werden gemeiniglich als Parasiten bezeichnet, da sie die verschiedensten höheren Pflanzen befallen, schädigen oder gar töten; genauere Untersuchung belehrt aber darüber, daß sie durch ausgeschiedene Gifte erst das Gewebe ihrer Opfer töten, ehe sie von dessen Stoffen zehren, daß sie also nach Saprophytenart sich ernähren. Solche Schmarotzer hat man als Hemisaprophyten bezeichnet. Auch insofern liegen hier Uebergänge zwischen Parasitismus und Saprophytismus vor, als die Sporen solcher Hemisaprophyten, z. B. Schlauchsporen der eben genannten Pilzgattung, vielfach saprophytischer Anzucht

Digitized by Google

bedürfen, um lebende Pflanzen befallen zu können.

2. Ekto- und Endoparasiten. Als Ektoparasiten bezeichnen wir diejenigen Schmarotzer, welche auf der äußeren Körperoberfläche ihres Wirts leben und in dessen Inneres lediglich diejenigen Organe hineinsenden, welche der Nahrungsaufnahme dienstbar sind. Ein Beispiel dafür ist der Mehltau unter den Pilzen, die Kleeseide unter den höheren Pflanzen. Die Endoparasiten leben im Innern des Wirtes und bilden in den typischsten Fällen von Endoparasitismus auch die ihrer Verbreitung und Fortpflanzung dienenden Organe im Wirtskörper aus. Dies gilt u. a. für den Erreger der Kohlhernie, der in den diese Krankheit charakterisierenden Geschwülsten der Wurzeln der Kohlpflanzen lebt und dessen Fortpflanzungszellen erst nach dem Tod der Kohlpflanze mit deren Fäulnis ins Freie gelangen, um neue Pflanzen zu infizieren. Zwischen Ekto- und Endoparasiten vermitteln solche Schmarotzer, welche zwar ihre vegetativen Teile im Innern des Wirts ausbilden, ihre Fruktikationsorgane aber, Sporenträger, Blüten, Früchte usw. ins Freie ragen lassen. Beispiele dafür finden wir unter den Parasiten der verschiedensten Organisation in großer Zahl, wohl die auffallendsten unter den Rafflesiaceen (siehe unten II, 7), einer Phanerogamenfamilie, die aus Schmarotzern besteht. Genauere Untersuchung muß bei den Endoparasiten sowie bei den innerhalb des Wirts lebenden Organen der anderen Schmarotzer zeigen, ob sie im Innern der Zellen ihres Wirts, also intrazellulär oder zwischen den Wirtszellen, d. h. interzellulär hausen, oder ob beides zutrifft. Vollkommen intrazellulär leben u. a. die eben genannten Erreger der Kohlhernie, ferner bestimmte parasitische Bakterien. Andere Bakterien, z. B. die Erreger mancher Pflanzenkrankheiten wie der Weichfäulen u. a. m. leben interzellulär; es sind das im wesentlichen solche Formen, welche wir oben als Hemisaprophyten bezeichneten, welche also die Wirtszellen durch ausgeschiedene Gifte abtöten und dann von den aus ihnen austretenden Stoffen zehren. Interzellulär leben auch die im Wirt befindlichen Teile der phanerogamen Schmarotzer, der Balanophoraceen, Rafflesiaceen, Misteln u. a. m. Hier wird durch engen Anschluß der Zellen des Parasiten an die des Wirts der nötige Nahrungsübertritt gewährleistet, soweit er nicht aus abgetöteten Zellen des Wirts erfolgt. Gleiches gilt auch für die parasitischen Meeresalgen: bei diesen fand man, daß die Zellen des Wirts und des Parasiten miteinander vertüpfelt sind. Angaben über den Anschluß der Saugorgane der phanerogamen Schmarotzer an die Gewebe des Wirts folgen später.

Vorwiegend interzellulär verlaufen ferner die Hyphen der Schmarotzer bei den Peronosporeen, Rostpilzen und anderen Schmarotzerpilzen; doch senden deren Hyphen besondere Saugorgane, Haustorien, deren Bau uns noch beschäftigen wird (II, 4), in die lebenden Wirtszellen, um diesen Nahrung zu entnehmen. In anderen Fällen pilzlichen Schmarotzertums verlaufen die Hyphen sowohl interzellulär wie intrazellulär, um nur ein Beispiel zu nennen, bei dem Erreger des Maisbrandes. Hier finden sich inter- und intrazelluläre „Verbreitungshyphen", und außerdem in die Zellen der Maispflanze eindringende Haustorien. — Wie ersichtlich, sind es nur die einzelligen Schmarotzer, welche ihre ganze Oberfläche zur Nahrungsaufnahme verwenden, bei allen anderen, höher organisierten Parasiten ist die Nahrungsaufnahme mehr oder minder streng lokalisiert.

3. Holo- und Hemiparasiten. Wenden wir uns nunmehr der chemischen Seite des Parasitismus zu und fragen wir nach der Qualität der Stoffe, welche der Wirt dem Parasiten als Nährstoffe hergeben muß.

Wir haben einmal Holoparasiten (Ganzparasiten), wie der Name sagt, solche Schmarotzer, welche ihren gesamten Nahrungsbedarf dem Wirt entnehmen. Der typische Holoparasitismus besteht darin, daß der Parasit dem Wirt Eiweißstoffe und verwandte Produkte entzieht, sich so deren Synthese sparend. In anderen Fällen entnimmt der Holoparasit nur Kohlenhydrate, Fette und andere stickstofffreie organische Körper, um aus diesen und den gleichzeitig entnommenen Nährsalzen seine Eiweißkörper aufzubauen. Jedenfalls werden den Holoparasiten alle für das Leben nötigen Stoffe durch den Wirt zugeführt, mit Ausnahme des Sauerstoffs, den diejenigen Parasiten, die dies Gas für ihre Atmung brauchen, der Atmosphäre entnehmen, soweit sie in diese hineinragen. Holoparasitisch sind alle chromophyllfreien Parasiten, also alle parasitischen Pilze und Verwandte, ferner die chlorophyllfreien oder fast chlorophyllfreien Algen und Blütenpflanzen (z. B. Kleeseide, Sommerwurz, Balanophoraceen, Rafflesiaceen usw.), die parasitischem Lebenswandel huldigen. Als Halbparasiten, Hemiparasiten, bezeichnet man diejenigen schmarotzenden Algen und Blütenpflanzen, welche chromophyllhaltig sind; sie entnehmen, wie der Name sagt, nur die Hälfte ihrer Nahrung dem Wirt, nämlich Wasser und mineralische Nährsalze, während sie für die Produktion organischer Stoffe, wie Kohlenhydrate usw. selbst durch Assimilation der Kohlensäure sorgen, solche also „in eigener Fabrik" herstellen.

Scharfe Grenzen zwischen Holo- und

Digitized by Google

Hemiparasiten gibt es nicht, im Gegenteil hat sich ergeben, daß innerhalb verschiedener Verwandtschaftskreise sich alle möglichen Uebergänge zwischen beiden Arten des Schmarotzertums nachweisen lassen. So ist unsere Mistel in ihren verschiedenen Rassen ein typischer Halbparasit. Zweifellos kann sie aber ihrem Wirt auch organische Stoffe entziehen, wenn in dessen Gefäßen organische Stoffe vorhanden sind; andere Mistelarten neigen aber mehr oder minder zum Holoparasitismus, was sich u. a. durch Reduktion des Assimilationsgewebes und durch Betrachtung ihres anatomischen Anschlusses an den Wirt zu erkennen gibt. Gleiches gilt für die Rhinanthoideen unter den Scrophulariaceen. Unter diesen finden wir typische Halbparasiten, von denen sich eine kontinuierliche Stufenleiter anderer Arten bis zum vollkommenen Holoparasitismus der Schuppenwurz verfolgen läßt. Ein Uebergang zwischen Holo- und Hemiparasitismus zeigt sich auch bei der Rhinanthoideengattung Tozzia, die in den ersten Jahren ihres Lebens holoparasitisch lebt, später aber, wenn sie sich zum Blühen anschickt, Hemiparasit wird, d. h. chlorophyllhaltige, photophile Sprosse ausbildet.

Statt von Hemi- und Holoparasiten kann man auch von auto- und heterotrophen Parasiten sprechen. Bekanntlich nennt man die typische grüne Pflanze, die sich lediglich von anorganischem Material ernährt, autotroph, im Gegensatz zu den heterotrophen Gewächsen, welche vorgebildete organische Nahrung von außen aufnehmen. Nach dieser Definition sind die Holoparasiten als heterotrophe Gewächse zu bezeichnen, ebenso wie die Saprophyten, die von totem organischen Material leben. Die typischen Hemiparasiten aber sind autotroph, denn nicht anders als andere grüne Pflanzen vollziehen sie die Synthesen ihres Stoffwechsels, indem sie lediglich von anorganischen Stoffen ausgehen. Mit Rücksicht auf Menge und Auswahl der Nährsalze sind sie aber ganz von ihrem Wirt abhängig und nehmen diese Abhängigkeit in Kauf dafür, daß sie auf Ausbildung eines Wurzelwerks von solcher Ausbildung verzichten können, wie sie es sonst im Kampf um die Nährsalze nötig hätten.

Bei den Hemiparasiten liegt der Gedanke nahe, daß auch ein Uebertritt von organischen Nährstoffen aus dem Parasiten in den Wirt erfolge, daß also ihr Verhältnis kein einseitig parasitisches, sondern ein mutualistisches, eine Symbiose im Sinne de Barys, sei. Tatsächlich hat man auch für die Mistel die Meinung zu stützen gesucht, daß ein Teil der von ihr gebildeten Assimilate der Wirtspflanze als Gegenleistung für die von dieser gelieferten Nährsalze zugute komme. Beweise dafür fehlen aber.

Oft ergibt die anatomische Untersuchung Anhaltspunkte dafür, welche Stoffe der Wirt dem Parasiten liefert; treten nur die Gefäße beider Symbionten miteinander in Verbindung, so kann man daraus schließen, daß wesentlich Nährsalze, im Frühjahr auch Zucker übertritt. So bei unserer Mistel. Fusionieren auch die Siebröhren, wie zwischen Cuscuta und ihrem Wirt, so läßt das auf Eiweißentzug aus dem Wirt schließen. Falls nur parenchymatische Elemente von Parasit und Wirt sich aneinanderlegen (wie u. a. bei manchen phanerogamen Ganzschmarotzern), so läßt sich daraus Näheres nicht entnehmen. Oft helfen auch mikrochemische Untersuchungen zur Einengung des Problems. Halbparasiten, die auf nitratreichen Wirten schmarotzen, zeigen ihre Gewebe ebenfalls reich an Nitrat, woraus zu ersehen, daß sie selbst erst daraus und aus den eigenen Assimilaten ihre organischen Stickstoffverbindungen aufbauen (viele Rhinantoideen). Der Holoparasit Cuscuta andererseits zeigt keine Nitratreaktion in seinen Zellen, wenn auch das Wirtsgewebe reich an Nitraten ist.

Um das Bild zu vervollständigen, erwähnen wir noch, daß es Fälle gibt, in welchen man zweifelhaft sein kann, ob man von Hemiparasitismus reden darf oder nicht. So wohnen bestimmte chromophyllhaltige Algen in Hohlräumen im Innern anderer Pflanzen, wo sie den für ihr Leben nötigen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre finden. Da ihre Wirte ihnen somit Wasser zur Verfügung stellen und zweifellos auch die in ihm gelösten Mineralstoffe, könnte man an Halbparasitismus denken; da aber in diesen Fällen keinerlei Schädigung des Wirts eintritt, auch keinerlei Saugorgane seitens der endophytischen Algen ausgebildet werden, spricht man lieber statt von echtem Parasitismus von Endophytismus oder auch von Raumparasitismus, um anzudeuten, daß der Wirt nur den Raum und die in ihm herrschenden Faktoren, Feuchtigkeit, Luft, Licht, verschafft. Im Innern von gewissen Wasserfarnen, Moosen usw. vorkommende Algen wären u. a. zu diesen Raumparasiten zu rechnen.

Vielfach sind die Parasiten nicht nur an eine Zufuhr besonderer Nährstoffe seitens des Wirts angepaßt, sondern auch an physikalische Faktoren, die sie bei ihrem Schmarotzertum finden: so vor allem an die Temperatur, wenn es sich um Parasiten von Warmblütern handelt. Ein allbekanntes Beispiel liefert der Tuberkuloseerreger, zu erinnern ist ferner daran, daß bestimmte Arten des Kopf- (Mucor) und des Gießkannenschimmels (Aspergillus) wegen ihres Angepaßtseins an hohe Temperaturen Mykosen bei Warmblütern (Kaninchen, Vögeln, auch Menschen) erzeugen können.

4. Obligatorische und fakultative Parasiten. Man unterscheidet häufig zwischen obligatorischen und fakultativen Schmarotzern. Zu den ersteren gehören diejenigen, welche bislang in natura nie anders als schmarotzend aufgefunden

Digitized by Google

werden konnten und bei denen auch die weitgehende Anpassung der Gestalt ein anderes als parasitierendes Leben unter natürlichen Bedingungen unmöglich macht. Hierher wären also vor allem die phanerogamen Holoparasiten zu rechnen. Die Hoffnung freilich, daß es gelingen wird, sie im Laboratorium auf toten Massen zu züchten, braucht darum nicht aufgegeben zu werden. Fakultative Parasiten sind solche, die bald parasitisch, bald saprophytisch oder autophytisch leben. Hierher gehören z. B. phanerogame Halbparasiten, von denen einige, nötigenfalls auch ohne zu parasitieren, ein freilich oft kümmerliches Dasein fristen, so bestimmte halbparasitische Meeresalgen, ferner einige Rhinanthoideen (vgl. unten). Ferner würden zu den fakultativen Schmarotzern der Typhus- oder Choleraerreger zu rechnen sein, endlich viele Pilze, u. a. Nectria cinnabarina, im Gegensatz zu dem obligaten Parasiten N. ditissima, der den Krebs der Obstbäume bewirkt, ein Saprophyt in dürrem Holz, der aber in beschädigte lebende Bäume eindringen und sich dann als bedenklicher Parasit entpuppen kann. Eine Art von Uebergang zwischen beiden Typen stellen solche Parasiten vor, welche zwar im Laboratorium auf künstlichen Substraten gut gedeihen, von denen man aber weiß oder annehmen darf, daß sie in der Natur stets parasitieren, als Saprophyten im Konkurrenzkampf unterliegen. Solche können wir eventuell als ökologisch-obligate Parasiten bezeichnen. Hierher würden wir manche Schmarotzerpilze zu rechnen haben. Unbekannt ist es, ob auch der Tuberkuloseerreger dazu gehört, da man noch nicht weiß, ob er vielleicht auch als fakultativer Parasit in erhitzten Heuhaufen oder ähnlichen Standorten ein saprophytisches Dasein führen kann.

Zu erwähnen ist sodann noch, daß man auch von temporären Parasiten spricht, und darunter Formen begreift, die im Verlauf des normalen Entwickelungsganges zeitweilig saprophytisch leben, sonst aber als echte Parasiten. Das gilt z. B. von Ustilago: Die Brandsporen keimen bei saprophytischer Ernährung, z. B. im nahrungsreichen, gedüngten Ackerboden zu Basidien aus, diese bilden Basidiosporen, die ihrerseits Konidien abgliedern und diese letzteren geben endlich wieder zum Parasitismus über, indem sie junge Getreidepflänzchen befallen. Hier darf auch Cordiceps militaris genannt werden, ein Schlauchpilz, der Insektenlarven und -puppen befällt, in ihnen parasitisch lebt, und nach ihrem Tod die „Stromata" auswachsen läßt, welche die Schlauchfrüchte tragen.

5. Wirtswahl und Wirtswechsel. Eine ganz besonders wichtige Frage ist die nach der mehr oder minder weitgehenden Spezialisierung der Parasiten. Allbekannt ist es, daß nicht jeder Schmarotzer jedes Wesen befällt, daß vielmehr bestimmte Wesen gegen die Angriffe bestimmter Schmarotzer immun sind. Viele Bakterien, die für den Menschen pathogen sind, verschonen Tiere und umgekehrt. In das Wesen der Immunität fehlt uns heutigen Tages der genügende Einblick.

Wir können die Parasiten einteilen in pleophage und monophage. Die ersteren befallen verschiedene Wirte, die letzteren sind ganz streng spezialisiert. Für beide Gruppen sollen nun einige Beispiele von Schmarotzern auf Pflanzen folgen.

Pleophag, d. h. nicht allzu streng spezialisiert, sind u. a. bestimmte phanerogame Halbschmarotzer, gewisse Rhinanthoideen u. a., die bezüglich ihrer Wirte nicht besonders wählerisch sind. Vielfach zeigt sich dabei, daß ihnen nicht alle Wirte gleichmäßig zusagen, daß sie es auf bestimmten Wirten nur zur kümmerlichen Vegetation, nicht zum Blühen und Fruchten bringen. Die Ursache, daß bestimmte Wirte solchen Schmarotzern nicht zusagen oder nicht von ihnen befallen werden, ist in manchen Fällen einigermaßen klar zu erkennen. Einjährige Pflanzen bieten z. B. oft nicht genügende Nahrung; in anderen Fällen beruht umgekehrt die Immunität des Wirts darauf, daß die Parasiten durch die allzu derben Gewebe ausdauernder Pflanzen nicht hindurchzudringen vermögen mit ihren Saugorganen.

Vielfach sind die Pflanzen durch chemische Stoffe gegen die Angriffe der Parasiten geschützt, so sterben die Cuscutahaustorien in Aloe, Euphorbia, Rheum ab.

Tropische Loranthaceen sind pleophag; wir hören, daß sie ziemlich alle Holzgewächse befallen, die nicht durch mechanische Schutzmittel irgendwelcher Art gegen ihre Angriffe gewappnet sind. Chemische Schutzmittel sind in diesem Fall nicht nachweisbar; auch das Alter des Wirts ist von erheblicher Bedeutung: Loranthus europaeus tötet jugendliche Zweige seines Wirts, in allzu alte kann er nicht eindringen. Unter den Pilzen gibt es gleichfalls viele pleophage Schmarotzer; u. a. auch unter den Rostpilzen, bei denen wir andererseits auch ganz auffallend starke Spezialisation finden. Weniger wundert es, zu hören, daß jene früher genannten hemisaprophytischen Schmarotzerpilze nicht streng spezialisiert sind. Oft hängt es mehr von Zufälligkeiten als von spezifischen Eigenschaften des Wirts ab, ob er von solchen befallen wird. Verwundungen, feuchtes Wetter usw. begünstigen die Infektion, die unter anderen Umständen an intakten Individuen nicht erfolgt wäre.

Digitized by Google

Mehr oder minder streng spezialisiert sind viele phanerogame Ganzparasiten, die wir später noch behandeln; Aeginetia indica, eine Orobanchacee, befällt nur monokotyle Wirte, Rafflesia nur die Gattung Cissus, aber auch Halbparasiten, wie manche Algen, wie die Mistel, von der gleich noch die Rede sein wird, oder die europäische Riemenblume (Loranthus europaeus), die nur Kastanie oder Eiche besiedelt, haben einen beschränkten Wirtskreis.

Die schönsten Beispiele strenger Spezialisierung finden wir unter den Pilzen, bei den Rost- und Brandpilzen. Wenn wir sehen, daß viele dieser Schmarotzer nur auf einem einzigen Wirt leben, so sind das Fälle strenger Monophagie, die vorläufig jeder Erklärung spotten; offenbar liegen ungemein komplizierte Wechselwirkungen zwischen Wirt und Parasit vor, die wir nicht durchschauen, und durch die beide scharf „aufeinander eingestellt" sind.

Wie weitgehend die Spezialisation sein kann, lehrt ein neuerdings bekannt gewordenes Beispiel: Ein Rostpilz, eine Form von Puccinia Hieracii, die auf einer bestimmten Sippe von Hieracium pilosella schmarotzte, ließ sich auf dieselbe Sippe, die auf einem benachbarten Standort wuchs, nicht überimpfen. Offenbar lagen hier zwei sehr nahe verwandte, aber doch nur scheinbar gleiche Sippen des Hieracium vor, die sich nicht durch ihre Gestalt, sondern nur durch verschiedene Empfänglichkeit für Infektion unterscheiden ließen.

Ganz besonders auffallend sind jene Fälle, in welchen der Entwickelungsgang eines Schmarotzers nicht auf einem, sondern auf zwei Wirten zurückgelegt wird. Man spricht dann von Wirtswechsel, nennt solche Schmarotzer heteröcisch im Gegensatz zu den autöcischen, bei denen sämtliche Phasen des Entwickelungsgangs auf ein und demselben Wirt vonstatten gehen. Bei den pflanzlichen Schmarotzern ist solcher Wirtswechsel bekanntlich bei den Rostpilzen am häufigsten, bei welchen die Uredo- und Teleutosporen (der Sporophyt) der heteröcischen Arten auf der einen, die Aecidiosporen und Spermogonien (der Gametophyt) auf einer anderen Pflanze erscheinen. Es kann sich dabei um ganz streng spezialisierte und um pleophage Pilze handeln. Als Beispiel eines pleophagen heteröcischen Rostpilzes diene Puccinia subnitens, die ihre Teleutosporen auf Gramineen, ihre Aecidien auf Cruciferen, Chenopodiaceen und Capparidaceen, allerdings keineswegs auf allen, bilden kann. Die allbekannte einheimische Puccinia graminis, die ihre Teleutosporen auf bestimmten Gräsern bildet, ist rücksichtlich ihrer Aecidiosporen recht streng spezialisiert, indem sie diese immer auf der Berberitze oder der Mahonie zeigt.

Was die Entstehung heteröcischer Rostpilze angeht, so sind alle Forscher darin einig, daß sie von autöcischen abzuleiten seien. Ein Forscher nimmt des weiteren an, daß die Vorfahren der Heteröcisten pleophage, autöcische Formen gewesen seien, die sich dann allmählich an zwei von den vielen ihnen ursprünglich zugänglichen Wirten angepaßt hätten, derart, daß sie ihre Uredo- und Teleutosporen auf einem, die anderen Sporenformen auf dem anderen der besagten zwei Wirte gebildet hätten.

Von anderer Seite wird die Meinung vertreten, die heteröcischen Arten seien abzuleiten von autöcischen spezialisierten Rostpilzen, die zunächst nur eine Sporenform — Teleutosporen — besaßen, später auch die anderen ausgebildet und gleichzeitig die Befähigung, auf einem Wirt den Entwickelungsgang zu beenden, eingebüßt hätten. Der ursprüngliche Wirt soll der heutige Aecidienwirt sein; z. B. soll Puccinia graminis ursprünglich auf Berberis gelebt, mit ihren Aecidiosporen sodann andere Wirte, Gräser, besiedelt haben.

6. Biologische Arten. Zu den bemerkenswertesten Ergebnissen der experimentellen Parasitenkunde gehört die Erkenntnis, daß man in vielen Fällen aus dem bloßen Anblick — mit oder ohne Mikroskop — nicht ersehen kann, wieweit die Spezialisierung des Parasiten geht. Es hat sich nämlich gezeigt, daß manche parasitische Formen, die man bis jetzt morphologisch nicht unterscheiden kann, sich dadurch auseinanderhalten lassen, daß sie an verschiedene Wirte angepaßt sind.

Man redet dann von biologischen Arten der Parasiten, die sich also nur auf Grund ihres Standortes, aber nicht ihrer Körpergestalt unterscheiden lassen.

Auch diese biologischen Arten findet man zunächst wieder unter den Rostpilzen in großer Menge. Eines der am längsten bekannten Beispiele ist eine Puccinia, die aus drei biologischen Arten besteht, die dadurch unterschieden sind, daß die Aecidien der einen auf Centaurea scabiosa, der anderen auf C. montana, der dritten auf Leucanthemum vulgare auftreten, während die Teleutosporen aller drei Arten auf Carex montana sich zeigen. Wir haben hier also Spaltung einer heteröcischen Spezies in drei biologische Arten, welche Spaltung man begreiflicherweise nur durch saubere Infektionsversuche feststellen kann. In viele Sippen zerfällt auch die schon genannte Puccinia Hieracii, die als Beispiel einer autöcischen Art genannt sei, zunächst in zwei, die sich morphologisch durch geringfügige Unterschiede ihrer Uredosporen unterscheiden lassen, die eine befällt die Arten der Untergattung Euhieracium, die andere die der Untergattung Pilosella, und jede dieser beiden Sippen läßt sich wiederum in eine große Zahl biologischer Arten gliedern, die nur durch ihre Wirte, nicht aber durch Gestaltsunterschiede getrennt werden können. Zwei dieser biologischen, morphologisch gleich erscheinenden

Digitized by Google

Arten sind auch jene beiden oben genannten, die den zwei scheinbar gleichen Pilosella-Sippen als Wirten angepaßt sind.

Man kann solche biologische Arten als werdende Arten auffassen und annehmen, daß sie sich im Lauf der weiteren Entwickelung der Lebewelt auf Erden allmählich auch morphologisch differenzieren werden. Man hat die Meinung vertreten, daß sie ihrerseits hervorgehen aus pleophagen Formen, die zu sogenannten Gewohnheitsrassen werden, das sind Sippen, die sich an bestimmte ihrer Wirte gewöhnen, nach erfolgter Gewöhnung zu biologischen, endlich zu wirklichen, d. h. gestaltlich unterscheidbaren Arten werden mögen. Biologische Arten wären hiernach stabilisierte Gewohnheitsrassen. Für eine derartige Angewöhnung sprechen auch die Ergebnisse einiger Kulturversuche. Umgekehrt wäre es natürlich auch möglich, monophage Arten als die ursprünglichen zu betrachten, deren Nachkommen neue Arten besiedelt hätten, sei es infolge allmählicher Angewöhnung an diese neuen Wirte, sei es infolge von mutationsartigen Veränderungen des Pilzes. Von jenen zwei oben genannten biologischen Arten auf Hieracium pilosella nimmt man an, daß sie hervorgegangen seien aus einer Art, die auf einer ursprünglich einheitlichen Sippe des H. pilosella gelebt hat, daß ein Teil der Deszendenten dieser Pilosella-Sippe sich verändert („mutiert") habe und daß die auf diesen veränderten Individuen lebenden Pilze sich infolge davon gleichfalls umgewandelt haben, derart, daß sie unfähig geworden seien, die ursprüngliche Pilosella-Sippe zu infizieren. — Wie sich nun diese Fragen auch weiter entwickeln mögen, jedenfalls liegen hier ganz besonders interessante Probleme vor, welche die Frage der Entstehung der Arten berühren.

Auch andere parasitische Pilze zerfallen in biologische Arten. Bekannt ist es, daß man Bakterien, auch pathogene, häufig nicht auf Grund gestaltlicher Eigenart, sondern biologischer Leistungsfähigkeit unterscheiden kann. Ferner wird mitgeteilt, daß von einem unvollständig bekannten Pilz, Gloeosporium fructigenum, der Fäulnisepidemien von Früchten, die noch unreif am Baum hängen, erregen kann, in der Schweiz eine Sippe vorkommt, die sich von einer amerikanischen nur auf Grund biologischer Eigentümlichkeiten, Ansprüchen an die Temperatur u. a. unterscheiden läßt. Auch ist die amerikanische Sippe als Fäulniserreger der anderen überlegen und kann krebsartige Geschwülste an den Bäumen erzeugen, was von der Schweizer Sippe bis jetzt nicht erwiesen werden konnte.

Anhangsweise sei noch erwähnt, daß man von „biologischen Arten" der Uredineen auch in den Fällen gesprochen hat, in welchen sich Sippen der genannten Pilze durch Fehlen (bezw. Vorhandensein) bestimmter Sporenformen unterscheiden. Man hat nachgewiesen, daß in bestimmten Fällen durch Aussaat von Uredo- oder Aecidiosporen auf kräftige junge Blätter Sporenlager mit Uredo-, bei Aussaat auf alternde Blätter aber solche mit Teleutosporen gewonnen werden, der Zustand des Wirts beeinflußt also den Entwickelungsgang des Schmarotzers. So ist auch zu erklären, daß Uredineen auf Frühjahrspflanzen mit früh absterbenden Blättern keine Uredosporen bilden. Vielleicht kann man sich vorstellen, daß Arten, denen die Uredosporen gänzlich mangeln, sie durch Anpassung an solche früh absterbende Blätter verloren haben; wenn diese Anschauung zutrifft, ist die Entstehung bestimmter Sippen auf die bedingenden Ursachen zurückgeführt, und als Folge „direkter Anpassung" erklärt.

Nimmt man an, daß auf ähnliche Weise in bestimmten Fällen auch die Aecidiosporenbildung unterdrückt worden sei, so kommt man zur Ableitung von Formen, die nur noch Teleutosporen bilden, von den anderen, die alle Sporenformen zeigen. Mit der oben (vgl. 5, letzter Abs.) referierten Anschauung, welche die umgekehrte Entwickelung der Rostpilze postuliert, ist diese Meinung vereinbar, wenn Formen, welche nur Teleutosporen führen, zwar im Allgemeinen als die Stammeltern der anderen zu betrachten, in einigen Fällen aber auch als Produkte retrogressiver Entwickelung anzusehen sind.

Noch ein Wort über den Terminus: „Ueberbrückungsarten": So nennt man Wirte spezialisierter Schmarotzerpilze, durch deren Vermittlung diese von einem Wirt auf einen andern, den sie direkt nicht befallen können, überzugehn vermögen. Für Mehltau ist Bromus tectorum eine „bridging species" zwischen B. comutatus und B. sterilis. Bei heteröcischen Uredineen bezeichnet man wohl auch die Aecidiosporen als „Brücke" in den Fällen, in welchen sie dazu dienen, um Uredo- und Teleutosporenlager auf solchen Wirten zur Ausbildung zu bringen, die durch die Uredosporen nicht befallen werden.

Biologische Arten sind aber nicht auf Schmarotzerpilze beschränkt, sondern kommen auch unter den phanerogamen Parasiten vor. So zerfällt die einheimische Mistel in biologische Arten, deren eine die Kiefer, die andere die Tanne, die dritte, die ihrerseits wieder in mehrere zerfällt werden kann, Laubhölzer befällt (näheres s. u. II, 7). Morphologische Unterschiede zwischen diesen „biologischen" Mistelarten sind bislang mit voller Sicherheit nicht nachweisbar gewesen. Auch bei diesen Schmarotzern kann die Frage, inwieweit scheinbar identische Arten in biologische Arten zu zergliedern sind, nur durch sorgfältige Infektionsversuche beantwortet werden, und es ist klar, daß alle Angaben über Pleophagie (z. B. auch jene oben genannten, welche die javanischen Loran-

Digitized by Google

thaceen betreffen) unsicher bleiben müssen, solange sie sich nicht auf Kulturversuche stützen.

Auf einige weitere, zur Beurteilung des Parasitismus wichtige Tatsachen, die Eigenschaften der Sporen bezw. Samen und der Keimlinge der Schmarotzer, die Art und Weise ihres Eindringens in den Wirt, den Anschluß des parasitären an das Wirtsgewebe, die Veränderungen des Protoplasmas und Kerns der Wirtszellen unter dem Einfluß des Schmarotzers usw. wollen wir nachher im speziellen Teil noch behandeln; hier noch ein kurzes Wort über die morphogenen Folgen des Parasitierens.

7. Die morphogene Beeinflussung des Wirts. Wie schon flüchtig erwähnt wurde und wie auch jedem Laien bekannt ist, wird das Gewebe des Wirts sehr häufig durch den Einfluß des Parasiten zur Bildung anomaler Produkte, Gallen, Hexenbesen, sogenannter Krebsgeschwülste u. a. m. angeregt. In mannigfachster Ausbildung treffen wir solche durch Schmarotzerpilze bewirkte Gebilde an, aber auch parasitische Algen und Phanerogamen (z. B. Misteln und Verwandte) lösen derartige Bildungen aus. Wir müssen wegen aller Einzelheiten auf die Literatur verweisen, wo sich mannigfache Angaben über die Anatomie solcher Gallen finden, über die Aetiologie, d. h. die Frage, ob durch chemische Reizungen, Wundreize oder andere Einflüsse solche Bildungen angeregt werden, über die Frage, inwieweit sie von ökologischer Bedeutung, sei es für den Schmarotzer, sei es für den Wirt, sind. — Häufig zeigt sich, daß der Wirt durch Bildung von Wundkork den Parasiten von seinem lebenden Gewebe abzukapseln trachtet. Auch die Erscheinung, daß intrazelluläre Hyphen, z. B. der Brandpilze, seitens des befallenen Wirts mit Zellulosehüllen umscheidet werden, daß Haustorien vielfach von der Wirtszelle durch Zellulosekapseln umhüllt werden, ist wohl als eine Schutzreaktion gegen die Schädigung durch den Schmarotzer anzusehen. Viel eigenartiger ist es, daß der Wirt nicht selten auch im Interesse des Parasiten tätig ist.

Die Wirtszellen bauen die Wand der Dauersporangien gewisser Schmarotzerpilze, der Chytridineen, die sich im Innern jener Zellen ausbilden, mit auf. Der eigenartigste hierher gehörige Fall ist aber zu verzeichnen in den von Ustilago Treubii auf Polygonum erzeugten Gallen, in welchen gewisse Gewebeteile des Wirts derart umgebildet werden, daß sie ein lockeres, kapillitiumartiges Fadengeflecht zwischen den Sporen bilden, welches „als organisches Glied in den Entwickelungsgang des Pilzes eintritt", das Benetztwerden der Sporen erschwert und ihre Zerstreuung erleichtert.

8. Die phylogenetische Entstehung der Parasiten. Was endlich die phylogenetische Entstehung der Parasiten angeht, so sind es offenbar Gewächse, die sich von autophytischen oder saprophytischen Pflanzen ableiten lassen. Pilze, die auf der Oberfläche anderer Gewächse sich einen Platz suchten, mögen, vielleicht durch die Trockenheit des Standorts veranlaßt, sich angewöhnt haben, mehr und mehr ins Innere der von ihnen besiedelten Pflanzen hineinzudringen, ihnen Wasser zu entnehmen, endlich auch gelernt haben, sie durch Nahrungsentzug zu schädigen; so wurden sie vielleicht zunächst zu Hemisaprophyten, um endlich zur höchsten Stufe des Parasitismus, dem symbiotischen, emporzusteigen. Gleiches gilt wohl von den phanerogamen Parasiten, so den Loranthaceen; auch diese sind von epiphytischen Gewächsen herzuleiten, die zuerst durch Wassermangel getrieben ihre als Haftorgane dienenden Luftwurzeln in Saugorgane umgebildet und so allmählich gelernt haben mögen, ihrer Unterlage Wasser und Nährsalze, endlich auch organische Stoffe zu entnehmen.

II. Spezieller Teil.

1. Parasitische Schleimpilze. Parasitische Schleimpilze sind nicht bekannt. In die Verwandtschaft der Schleimpilze werden von manchen Forschern die Arten der Gattung Vampyrella und ähnlicher Formen gestellt, die wir oben als Parasiten auf Algen erwähnt haben.

Plasmodiophora Brassicae, die Erregerin der Kohlhernie — bis faustgroßer Geschwülste an Strünken und Wurzeln aller gebauten Kohlarten —, deren Myxamöben in die Wurzeln junger Kohlpflanzen eindringen, in den Zellsafträumen leben und zu Plasmodien verschmelzen, aus denen sich die Sporen bilden, die nach Fäulnis des Kohls wieder ins Freie gelangen, wird neuerdings zu den Pilzen (Chytridiaceen) gestellt (vgl. den Artikel „Pflanzenkrankheiten").

2. Parasitische Bakterien. Die parasitischen Bakterien seien hier unter Hinweis auf die medizinische Literatur nur kurz gestreift. Besondere Gestaltungen, die als Anpassungen an die parasitische Lebensweise gedeutet werden könnten, fehlen meistens. Erwähnt sei, daß manche Formen, wenn sie parasitieren, eine Schleimhülle um ihre Zellen ausbilden, die ihnen abgeht, wenn sie saprophytisch leben. Die Knöllchenbakterien, die mancherseits ebenfalls als Parasiten betrachtet werden, wandeln sich innerhalb der Knöllchen in Bakteroiden um (vgl. den Artikel „Stickstoffbindung"). — Die giftigen Stoffe, welche von den pathogenen Bakterien ausgeschieden werden, sie infektionskräftig machen, d. h. dazu dienen, die „Abwehrkräfte" des tierischen und menschlichen Organismus zu überwinden,

Digitized by Google

nennt der Mediziner Aggressine. Sie dürfen nicht verwechselt werden mit den Toxinen, das sind die Stoffwechselprodukte, welche die schweren Krankheitssymptome bedingen, für den Parasiten aber keine biologische Bedeutung haben sollen, sogar eher als schädlich betrachtet werden, weil das schnelle Abtöten der Opfer kaum im Interesse des Parasiten liegt. — Bakterien, welche Pflanzenkrankheiten („Fäulen") erregen und welche zwischen den Zellen, auch in den Gefäßen leben, scheiden Enzyme aus, welche die Mittellamellen der Zellwände, sowie die verholzten Wandungen der Gefäße auflösen. Ferner ist Ausscheidung von Oxalsäure, Butter-, Essigsäure durch pflanzenpathogene Bakterien, z. B. bei Bakteriosen von Kulturpflanzen, nachgewiesen worden, vielleicht wirken sie auch noch durch andere Gifte. An die durch parasitische Bakterien auf Algen, an Wurzeln (Leguminosenwurzeln), Stämmen (Olea usw.) bewirkten Gallenbildungen sei unter Hinweis auf die Gallenliteratur nur kurz erinnert (vgl. den Artikel „Bakterien").

3. **Parasitische Spaltalgen.** Einige Cyanophyceen leben endophytisch, aber dann meistens nur als Raumparasiten. Eine Ausnahme macht Nostoc punctiforme, das in die Rhizome der Gunnera eindringt und sich dort im Innern der Zellen einnistet. Ueber den Stoffwechsel dieser Form ist nichts bekannt. Man würde sie für hemiparasitisch halten, doch gerät sie so tief ins Innere des Gunneragewebes, daß sie vielfach offenbar ganz im Dunkeln lebt und als Holoparasit betrachtet werden muß.

4. **Parasitische Pilze.** Indem wir wegen der Frage, in welchen Klassen des Pilzreichs Schmarotzer vorkommen, auf den Artikel „Pilze" und im übrigen auf den Artikel „Pflanzenkrankheiten" verweisen, bringen wir im folgenden noch einige Ergänzungen zu unseren obigen Ausführungen: Häufig findet sich bei Schmarotzerpilzen dieser Lebenswandel nicht durch besondere morphologische Merkmale ausgeprägt, ist doch ein verzweigtes, mit Spitzenwachstum begabtes Mycel gleich gut dazu geeignet, tote Massen zu durchwuchern, als lebende Gewebe nach Nahrung abzusuchen. So finden wir denn, wenn wir von einfacher organisierten Formen wie den Chytridiaceen absehen, bei parasitischen Pilzen das Mycel entweder zwischen oder auch innerhalb der Zellen dahinkriechen; schnelle Verbreitung des Mycels kann auch dadurch bewirkt werden, daß es innerhalb der Gefäße der Wirtspflanze vorwärtsdringt; dies ist beobachtet am Uredineenmycel im Rhizom der Wirtspflanze während des Austreibens der Winterknospen. Welche Organe des Wirts befallen werden, ist sehr verschieden. Schmarotzer auf Pflanzen können sich bis in den Vegetationspunkt erstrecken (Rostpilze) oder diesen frei lassen (Albugo). Besondere Anpassungen an den Parasitismus sind die schon erwähnten Haustorien, seitliche Ausstülpungen der Pilzfäden, die die Zellwände des Wirts durchbohrend sich ins Zellinnere erstrecken, um Nahrung aufzusaugen. Dieselben pflegen sich an das Protoplasma der befallenen Zelle unter Einstülpung von dessen äußerer Plasmahaut anzulegen, zunächst ohne sie zu töten; auffallende Schädigungen, Vergiftung der Zelle, die mit deren Tod endigt, tritt erst später auf. Innerhalb der Wirtszelle kann das Haustorium die Form einer kleinen Kugel haben, z. B. bei Albugo candida, einer

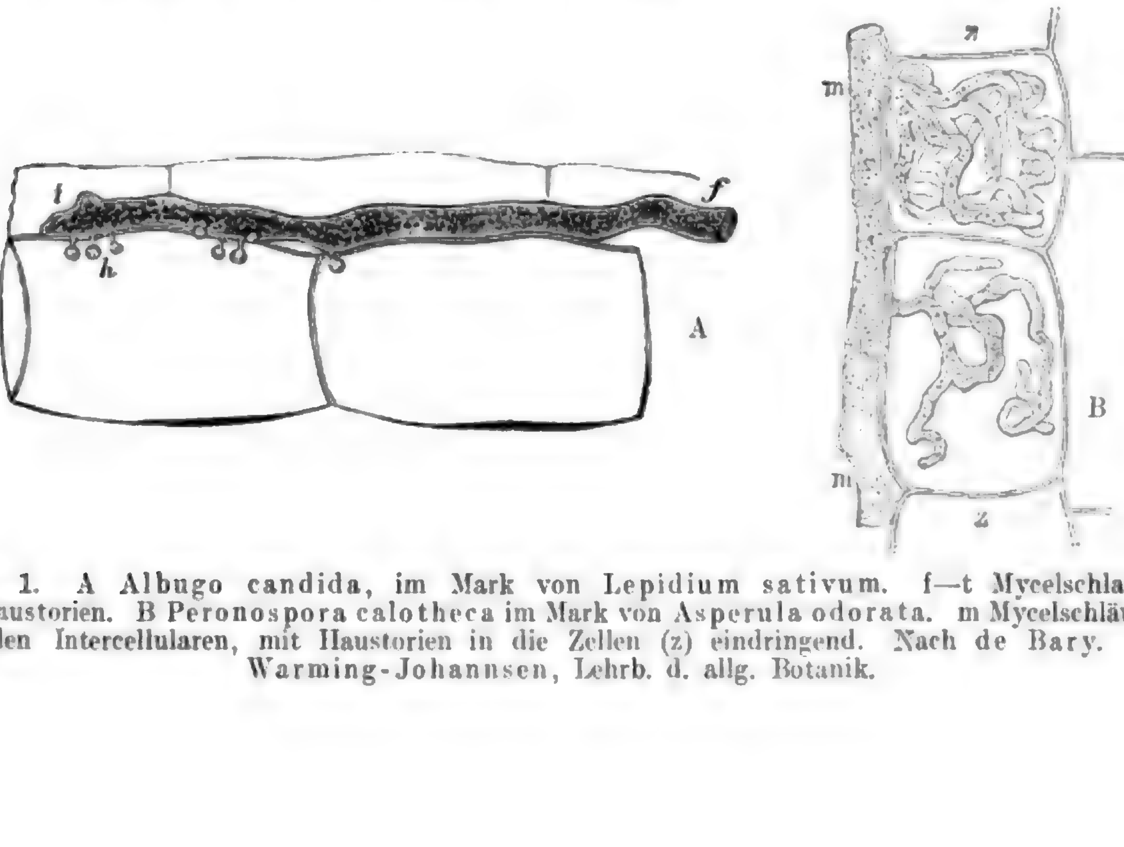


Fig. 1. A Albugo candida, im Mark von Lepidium sativum. f—t Mycelschlauch, h Haustorien. B Peronospora calotheca im Mark von Asperula odorata. m Mycelschläuche in den Intercellularen, mit Haustorien in die Zellen (z) eindringend. Nach de Bary. Aus Warming-Johannsen, Lehrb. d. allg. Botanik.

Digitized by Google

Peronosporee. Bei anderen Vertretern derselben Gruppe sind die Haustorien insofern höher entwickelt, als sie mannigfach verzweigt sind und so eine größere resorbierende Oberfläche aufweisen (vgl. Fig. 1). Sehr feine Fadenbüschel stellen die Haustorien bei einigen jener Mucorineen vor, welche auf Familiengenossen schmarotzen (Piptocephalis), andere dieser Formen legen ihre Hyphen an die des befallenen Pilzes an und zwischen beiden bildet sich eine offene Kommunikation (Chaetocladium). Das Eindringen der Haustorien wird jedenfalls stets ermöglicht durch Ausscheidung eines zellhautlösenden Enzyms. Uromyces pisi, ein Rostpilz, treibt Haustorien nie in embryonale, sondern stets in solche Zellen des Wirts, in welchen Vakuolenbildung schon eingetreten ist; man darf annehmen, daß hier die Vakuolenflüssigkeit einen die Haustorienbildung auslösenden chemischen Reiz ausübt. Nimmt man durch experimentelle Eingriffe den Wirtszellen am Vegetationspunkt ihren embryonalen Charakter, so werden Haustorien auch in sie getrieben. Nicht selten ist zu beobachten, daß die Haustorialschläuche den Kern der Wirtszelle aufsuchen, ihn umklammern und aussaugen (bei Uredineen). Häufig sieht man, daß die Wirtszelle sich wehrt und die eingedrungenen Haustorien mit Zellulosehüllen umscheidet. So bei den Haustorien der Peronosporeen; Uredineenhaustorien werden vielfach nur teilweise an ihrer Basis umscheidet, andere Haustorien werden von der Spitze aus umscheidet (Exobasidium), die Haustorien der Ustilagineen meistens überhaupt nicht, im Gegensatz zu den intrazellulären Verbreitungshyphen dieser Schmarotzer.

Das Eindringen der Schmarotzerpilze in die Wirtspflanze findet statt, indem sie die Haut durchbohren, oder natürliche Oeffnungen, Spaltöffnungen benutzen, oder durch Wunden eindringen. Der Bildung von Haustorien an Keimschläuchen, die durch die pflanzliche Epidermis einzudringen befähigt sind, geht oft die Bildung eines sogenannten Appressoriums vorauf, das den Keimschlauch auf der Außenhaut befestigt und außerdem dem ihm entsprossenden Infektionsfaden die Richtung weist. Solche Appressorien werden in sehr einfacher Form bei Peronosporeen und Uredineen gebildet durch Anschwellung der Keimschläuche, schärfer abgesetzte, an der Berührungsstelle mit dem Wirt getüpfelte Gebilde sind sie bei den schmarotzenden Ascomyceten. Die Mehltaupilze besitzen Haustorien mit und solche ohne Appressorien. Es hat sich gezeigt, daß die Bildung der Appressorien Folge einer Kontaktreizbarkeit ist. Nutationen der Keimschläuche erleichtern die Berührung mit dem Wirt, so auch die Appressorienbildung. Die Bildung des eigentlichen Infektionsfadens kann ohne chemische Reizung erfolgen, häufig bildet er sich aber nur bei Nahrungszufuhr von außen, oder infolge von chemischer Reizung durch den Wirt, aus; er dringt durch die Haut des Wirts ein mit Hilfe von Enzymen, deren Qualität mit jener wechselt, z. B. mit Hilfe von chitinlösenden bei Schmarotzern auf Insekten (Laboulbeniaceen, Entomophtoreen). — Keimschläuche, die durch die pflanzlichen Spaltöffnungen eindringen, sind chemotropisch reizbar durch Stoffe, die aus den Spaltöffnungen herausdiffundieren; das ist u. a. nachgewiesen für die Keimschläuche von Uredosporen und von Konidien von Schlauchpilzen (Botrytis). Schwärmsporen parasitischer Pilze, z. B. der Chytridineen, sind chemotaktisch reizbar und finden so die Eingangspforte. Daß chemische Reizbarkeit auch bei solchen Pilzen, die nur durch Wunden in ihre Opfer eindringen, eine große Rolle spielt, steht außer Frage.

Ebenso wie die Keimlinge bei den einen Formen durch natürliche Oeffnungen, bei den anderen direkt durch die Haut eindringen, treten diejenigen Organe, welche der Bildung und Verbreitung der Fortpflanzungszellen dienen, bald durch natürliche Oeffnungen, z. B. die Spaltöffnungen nach außen (so beim Kartoffelpilz Phytophthora infestans), bald unter Sprengung der äußersten Gewebepartien des Wirts, z. B. der Epidermis (so bei der schon mehrfach genannten Albugo candida).

Von Interesse sind morphogene Veränderungen an den vom Pilz befallenen Wesen; wegen der so häufig zu beobachtenden Hypertrophien oder anderer Veränderungen der Zellen und Gewebe des Wirts muß auf die Gallenliteratur verwiesen werden (s. den Artikel „Gallen"); es sei hier nur noch erwähnt, daß von Pilzen befallene Pflanzenzellen häufig eine Massenzunahme des Protoplasmas zeigen, der Kern nimmt gleichfalls an Größe zu, das Chromatin sammelt sich in seiner Peripherie an, auch kann er gelappte Gestalt annehmen und das Chromatin kann verschwinden. Die Nukleolarsubstanz nimmt an Masse zu. Dies wurde z. B. beobachtet an Zellen, in welche die Haustorien der Albugo eingedrungen waren, oder in welchen Chytridineen schmarotzten.

5. Parasitische Algen. Von harmlosen, auf der Oberfläche oder im Innern anderer Wesen, zumal Pflanzen, lebenden Algenformen, führt eine ununterbrochene Stufenleiter zu solchen, die durch Abtöten von Zellen oder Gewebepartien ihrer Wirte, in denen sie oft einem schmarotzenden Pilzmycel vergleichbar dahinwuchern, ihren Parasitismus deutlich zur Schau tragen; während die meisten derselben chromophyllhaltig sind,

Digitized by Google

sich also mindestens einen Teil ihrer organischen Nährstoffe durch Assimilation der Kohlensäure selbst bilden können, treffen wir zwei Gattungen (Rhodochytrium und Harveyella), welche farblos und darum als zweifellose Holoparasiten anzusprechen sind. Diese Stufenleiter gibt uns gleichzeitig Anhaltspunkte über die Phylogenese der parasitischen Algen: sie sind jedenfalls abzuleiten und allmählich entstanden aus epiphytischen Formen, die sich mehr und mehr ins Innere der Wirte zogen und dabei mehr und mehr zur parasitischen Nahrungsaufnahme übergingen, ebenso, wie ja auch die Misteln und Verwandte sicher von Epiphyten abzuleiten sind. Nur kann bei den parasitischen Algen, soweit sie auf anderen Algen schmarotzen, nicht die Flucht vor der Trockenheit mitgewirkt haben, wir können uns vorstellen, daß sie, um Schutz gegen andere Unbilden zu finden, sich mehr und mehr ins Wirtsinnere zogen, dabei zuerst lernten, die Nährsalze statt durch Entwickelung der eigenen Oberfläche, durch den Wirt aufzunehmen, und ihm endlich auch organische Nährstoffe entzogen. Uebrigens wissen wir nicht, ob es unter den Algen richtige Hemiparasiten gibt oder ob chromophyllhaltige Parasiten ihren Wirten auch mehr oder minder reichlich organische Nährstoffe entnehmen, wir wissen ebensowenig darüber, welcherlei Stoffe die holoparasitischen Algen vom Wirt geliefert erhalten. Viele parasitische Algen sind bezüglich ihrer Wirte noch gar nicht spezialisiert, andere sind mehr oder minder streng bestimmten Wirten angepaßt, das gilt u. a. für einige derjenigen, welche auf Blättern höherer Pflanzen schmarotzen (vgl. unten), sowie für einige parasitische Meeresalgen. Vielfach lösen parasitische Algen Gallenbildungen aus, Hypertrophien von Zellen und Geweben; sie stellen z. B. kleine Knöllchen vor, noch auffallender aber sind die gelben oder schwärzlichen „Pusteln", welche von Phytophysa Treubii, einer Chlorophycee, die in Anpassung ans Landleben Aplano- statt Schwärmsporen bildet, auf Blättern und Stengeln der Urticacee Pilea hervorgerufen werden. Melobesia deformans deformiert ihre Wirte, Corallineen, derart, daß deren regelmäßige fiederige Verzweigung zu einer unregelmäßig allseitigen wird.

Um noch einige Beispiele zu nennen, erwähnen wir von chromophyllhaltigen Parasiten unter den Algen diejenigen Chroolepideen, welche in den Blättern von Bäumen der Tropenwälder schmarotzen. Zunächst subkutikular lebend, können sie mehr oder minder tief ins Blattgewebe eindringen, die Epidermis abheben, Palissaden- und Schwammparenchym durchwuchern, dabei mehr oder minder große Partien abtöten, welche seitens der Wirtspflanze durch Korkbildung von den intakten Geweben abgeschlossen werden. Die sporangientragenden Fäden brechen durch die Cuticula nach außen oder wachsen durch die Spaltöffnungen ins Freie; wir sehen also auch hier wie so häufig bei Parasiten, daß die der Fortpflanzung dienenden Teile ektophytisch leben im Gegensatz zu den endophytischen vegetativen Organen. Rhodochytrium ist ein zu den Protococcoideen gehöriger farbloser Holoparasit, das Endglied einer mit grüngefärbten Formen anhebenden Reihe, dessen Keimschlauch durch die Epidermis in die Blätter der amerikanischen Composite Spilanthes eindringt, mit haustorienähnlichen Fäden die Gefäße des Wirts umspinnt und sich schließlich zur Dauerzelle umbildet, die endlich wieder Schwärmer bildet. — Der andere farblose Parasit unter den Algen ist die zu den Gigartinales (Rhodophyceen) gehörige Gattung Harveyella, gleichfalls das Endglied einer mit chromophyllhaltigen Arten beginnenden Reihe, die in Form vegetativer Fäden im Innern von Rhodomela subfusca lebt und auf deren Oberfläche Polster bildet, in deren Aufbau auch Zellen des Wirts mit hineinbezogen werden und in welchen die Fortpflanzungsorgane des Parasiten sich finden.

6. Parasitische Flechten. Widmen wir nun den Flechten einige Worte, so können wir hier keine Stellung nehmen zu der alten Streitfrage, ob das Verhältnis der Algen zum Pilz in der Flechte als mutualistische Symbiose, oder als Parasitismus des Pilzes auf den Algen (Helotismus der Algen) zu deuten sei. In den Fällen, in welchen die Flechte auf rein mineralischer Unterlage wächst oder der Flechtenpilz aus anderen Gründen nicht saprophytisch leben kann, muß er natürlich unbedingt der Alge organische Nahrung entziehen, damit die Flechte existieren kann. In den Fällen, in welchen der Pilz Haustorien in die Algenzellen treibt, liegt der Parasitismus offen zutage, — die Frage, ob die Alge vom Pilz Gegenleistungen irgendwelcher Art erhält, bleibt dabei offen; falls sie durch Vermittelung der lebenden Pilzfäden Mineralsalze aufnimmt, wäre sie sozusagen Hemiparasit auf dem Pilz, das Verhältnis beider Konsorten also mutualistisch. Betrachten wir die Flechte als Ganzes, so sehen wir, daß auch sie gelegentlich als Parasit auftritt — nicht nur als Epiphyt, wie man früher annahm —, und zwar gilt das von Flechten, welche auf Baumblättern in den Tropenwäldern schmarotzen; der Flechtenpilz gehört zu den Pyrenomyceten, die Algen sind jene schon genannten Chroolepideen, die auch ohne Vergesellschaftung mit dem Pilz parasitisch leben. Auch in der Flechte ist die Alge der die Blätter schädigende Konsorte, der Pilz hilft höchstens etwas mit, die Cuticula abzusprengen und so der Alge die Ausbreitung zu erleichtern. Ob besagte Flechten nur subkutikular leben oder tiefer in die Blätter vordringen, dürfte großenteils weniger von der Eigenart der Flechten als von der des

Digitized by Google

Wirts und der sonstigen Lebensbedingungen abhängen. Die genannten Flechten bieten auch gute Beispiele für morphogene Beeinflussung der Alge durch den Pilz, denn statt fädig auszuwachsen, trennen sich in der Flechte ihre Zellen nach der Teilung und runden sich ab („Kugelalgen").

Unter „Flechtenparasiten" versteht man Pilze, welche auf Flechten schmarotzen. Dabei kann es sich um Pilze handeln, welche zuerst als sogenannte Parasymbionten am Flechtenkonsortium sich beteiligen, dann zum Parasitismus übergehen und wenn sie sich durch die Flechte bis aufs Substrat durchgefressen haben, in diesem saprophytisch weiter wachsen um eventuell später wieder eine Flechte zu befallen.

7. Parasitische Phanerogamen. Unter den Moosen und den Farnkräutern gibt es keine Parasiten, wir kommen darum sofort zu den parasitischen Phanerogamen. Unter den Phanerogamen vermissen wir Parasiten bei den Gymnospermen und bei den Monokotylen, treffen solche nur an in bestimmten Familien der dikotylen Gewächse. Hier haben wir, wie wir schon wissen, wie bei den Algen, Halb- und Ganzparasiten zu unterscheiden. Soweit die Halbparasiten Wurzelparasiten sind, kann man ihren oberirdischen Teilen vom Parasitismus oft nichts ansehen; Stengel und Blätter sind entwickelt und vielfach eben so freudig gefärbt wie bei Autophyten, nur die Betrachtung der Wurzeln mit ihren Haustorien zeigt das Schmarotzertum. Aehnlich die „epiphytoiden" Halbparasiten (wie die Mistel). Auch hier prägt sich die Anpassung meist weniger in der Form von Stengeln und Blättern aus, als in den Wurzeln mit ihren mannigfachen Umbildungs- und Reduktionserscheinungen.

Schon bei Misteln und Verwandten finden wir dann Uebergänge zum Ganzparasitismus, zu Pflanzen, „die in ihren Handlungen die Tierseele nachahmen" und deren Bau fast immer durch starke Reduktion oder fast vollkommene Unterdrückung der Laubblätter sowie durch mehr oder minder vollkommenen Schwund des Chlorophylls ausgezeichnet ist. Auch jene uns schon bei Halbparasiten auffallenden Umbildungen und Rückbildungserscheinungen an dem Wurzelsystem treten uns bei Ganzparasiten entgegen. Einige Ganzparasiten sind Lianen (Cassytha, Cuscuta), die anderen sind Wurzel- oder Stengelschmarotzer. Wurzelschmarotzer sind die Sommerwurzarten, die Schuppenwurz, ferner die Balanophoraceen, manche Rafflesiaceen und Verwandte, jene eigenartigen Formen, die als pilzähnlich, fungoid, bezeichnet werden, weil ihre Blütenstände oft einen durchaus pilzähnlichen Eindruck machen, sodann auch, weil der ganze Sproß in den extremsten Fällen (Rafflesia) nach Art eines Pilzmycels ausgebildet, die Wirtspflanze durchwuchert, die Blüte direkt der Wirtswurzel aufsitzt. Analoges gilt auch für stengelschmarotzende Rafflesiaceen. Bei vielen parasitischen Phanerogamen finden sich Apogamie, parthenogenetische Entwickelung, Um- und Rückbildungen im Bau der Geschlechtsorgane, die man vielfach auf das Konto der eigenartigen Lebensweise gesetzt hat. Wir haben hier weder Platz noch Ursache, darauf einzugehen, da neuere Untersuchungen beweisen, daß bei anderen Parasiten von derartigen Anomalien nichts zu sehen ist, und sie nicht für die parasitäre Lebensweise kennzeichnend sind. In Ergänzung der bisherigen Ausführungen bringen wir nun noch eine Aufzählung der wichtigsten phanerogamen Parasiten.

Santalaceae: Vorwiegend afrikanische, chlorophyllhaltige Schmarotzer, die sich mit ihren Haustorien zum größeren Teil an den Wurzeln oder Rhizomen, zum kleineren an den Aesten ihrer Wirtspflanzen festsaugen. Blätter manchmal reduziert. In Europa 18 Arten der meist krautige Vertreter umschließenden Gattung Thesium, die ohne wesentliche Wirtswahl viele krautige Pflanzen oder auch Holzgewächse mit weichem Holz befallen und nach 2 bis 3 Jahren blühreif werden. Außerdem in Europa eine Art der Gattung Comandra, sodann Osyris alba, ein Strauch, der etwas wählerischer ist als die Arten von Thesium und Holzgewächse mit weichem Holz als Wirte besiedelt (z. B. Weiden). Auch Santalum album, ein Baum des malayischen Archipels, der weißes Santelholz liefert, und Osyris tenuifolia, die ostafrikanisches Santelholz gibt, wären hier zu nennen.

Die Haustorien, z. B. bei Thesium, sind eiförmige Gebilde, deren Spitze sich an die Nährwurzel anlegt und sie mehr oder minder weit umgreift und die den flaschenförmigen Haustorialkern umschließt, dessen Hals sich als „Saugfortsatz" ins Innere der Wirtswurzel erstreckt; dessen parenchymatische Zellen finden Anschluß an das Rindenparenchym, gefäßähnliche Zellen seiner Leitbündel solchen an die Gefäße der Wirtswurzel (vgl. Fig. 2).

An die Santalaceen schließen sich an die hauptsächlich auf Buchenzweigen halbparasitisch lebenden gallenbildenden Myzodendraceen Südamerikas.

Loranthaceen: Meistens tropische Gewächse, bei uns nur Viscum album in ihren verschiedenen Sippen, Loranthus europaeus, und Arceuthobium oxycedri. Zum größten Teil schmarotzen sie auf Holzgewächsen als Hemiparasiten, doch finden sich alle Uebergänge zum Holoparasitismus, dem das afrikanische auf Euphorbia schmarotzende Viscum minimum wohl gänzlich verfallen ist. Die Tracht der Loranthaceen

Digitized by Google

ist sehr verschieden, die Blätter häufig lederig, bei unserer Mistel immergrün, bei Loranthus europaeus sommergrün, bei Arceuthobium reduziert, statt ihrer dienen abgeflachte Achsen der Assimilation. Die verschiedene Ausbildung des Assimilationssystems spiegelt zum Teil den verschiedenen Grad des Parasitismus wider, zum Teil die verschiedenartige Wasserökonomie der verschiedenen Arten. Sehr verschieden ist auch die Art und Weise des Anschlusses an den Wirt: Bei den meisten tropischen Loranthaceen kriechen die Wurzeln außen auf der Rinde des Wirts dahin, bilden Haftscheiben und dringen mittels „Senkern" ins Innere, die den Anschluß an die Leitungsbahnen des Wirts erreichen. Bei unserer Mistel dringt die Keimwurzel direkt ins Innere der Wirtsrinde, treibt in dieser dahinkriechende „Rindensaugstränge", die dann ihrerseits Senker bis aufs Holz treiben, in das sie infolge des Dickenwachstums des Wirts eingesenkt werden. Wo sie das Cambium des Wirts durchsetzen, bleiben sie meristematisch und machen so das Dickenwachstum des Nährastes mit. Während bei V. album der Anschluß der Gefäße der Senker an die des Wirts erfolgt und beide in offene Kommunikation treten, beobachten wir bei dem holoparasitischen Viscum minimum, daß dessen das Wirtsgewebe nach allen Richtungen durchziehende Saugstränge die Elemente ihrer Holzteile nicht mit denen des Wirts fusionieren lassen, daß sich vielmehr parenchymatische Elemente an das Grundgewebe des Wirts anlegen.

Noch ein kurzes Wort über die biologischen Sippen von Viscum album: Die Kiefernmistel geht nie auf die Tanne, nie auf Laubholz, wohl aber auf andere Kiefern, die zwei Nadeln am Kurztrieb besitzen, ferner auf Lärchen, Cedern. Schwierig geht sie auf Fichten, vielleicht spaltet sich heutigen Tags eine Fichtensippe von der Kiefernmistel ab. Die Tannenmistel geht nicht auf Kiefern, nicht auf Laubholz, leicht aber z. B. auf die amerikanische Abies Nordmanniana; die Empfänglichkeit beruht also nicht unbedingt auf einer Anpassung, denn in Amerika fehlt die Mistel. Die Laubholzmistel, die Tannen und Fichten streng meidet, spaltet sich wieder in mehrere Gewöhnungsrassen. Die Lindenmistel geht leicht auf Apfelbaum, Hasel, entfaltet da aber ihre Blätter später als auf der Linde, minder leicht auf Acer platanoides, nur sehr schwer oder gar nicht auf die Schwarzpappel. Andere Sippen sind gewöhnt an Pappeln, Robinien, Roßkastanien, Apfelbäume. Die auf Birnen schmarotzende Mistel zieht diesem Wirt den Apfelbaum vor, es ist also keine Gewöhnung an die Birne zu beobachten. Misteln, die auf unseren Eichen schmarotzen, gehen auch auf amerikanische Eichen über. Während im allgemeinen eine Erklärung dieser eigenartigen Spezialisierung fehlt, kann man feststellen, das Raschwüchsigkeit und weiche Rinde die Bäume empfänglich für Mistelinfektion macht. Nur in einigen Fällen zeigt sich, daß ein und dieselbe biologische Sippe solche Arten befällt, die miteinander verwandt sind.

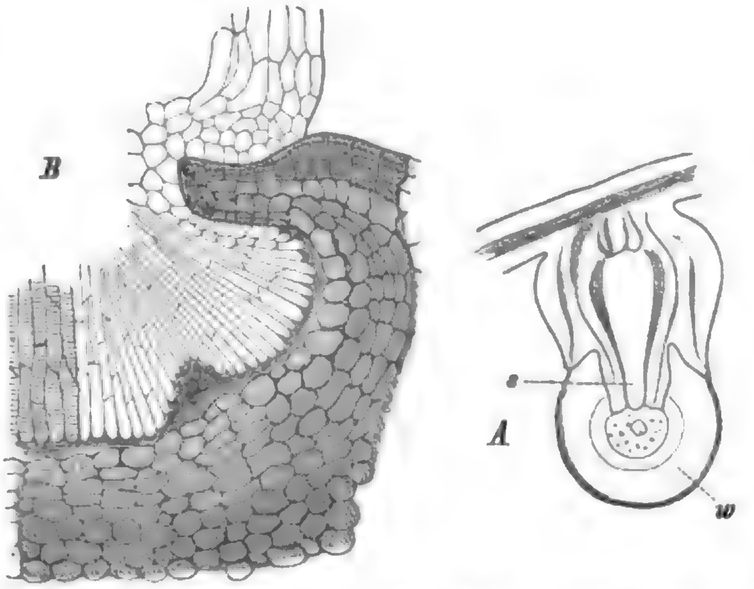


Fig. 2. A: Längsschnitt durch ein Haustorium von Thesium pratense, s Saugfortsatz, w Nährwurzel einer dikotylen Pflanze, schwach vergrößert. B: Teil eines Saugfortsatzes im Längsschnitt der Nährwurzel. Die gestreckten Absorptionszellen breiten sich fächerförmig aus. Vergr. 80. Nach Solms-Laubach. Aus Haberlandt, Physiol. Pflanzenanatomie.

Erwähnt sei noch, daß Mistel auf Mistel und Loranthus, Loranthus auf Loranthus schmarotzen kann. Auf Mistelgallen ist oben hingewiesen, genannt seien noch die Holzrosen, das sind Gallen, welche von den amerikanischen Phoradendronarten auf ihren Wirten hervorgerufen werden. Daß die Mistel der Obstkultur schädlich werden kann, ist bekannt. Die rotbeerige Mistel (V. cruciatum) kann Oelbäume schädigen.

Balanophoraceen: (Fig. 3). Ganzschmarotzer auf den Wurzeln holziger Pflanzen der Tropenwälder (Indomalayischer Regenwald, Mittel- und Südamerika, Neuseeland, Südafrika). Ihr Körper sitzt als knolliges Gebilde der Nährwurzel auf, Blätter fehlen oder sind rückgebildet. Die Knollen können verzweigt sein, die Seitenäste entweder knollen- oder walzenförmig. An der Spitze der Knollen und ihrer Seitenzweige oder im Innern werden Infloreszenzen angelegt. Diese sind kugelig oder kolbenförmig, tragen schuppenförmige Blätter, sind einfach oder verzweigt. Manche Arten sind apogam. Die Samen entbehren wie bei den Santalaceen

der Samenschale, der Keimling ist ungegliedert, wie bei manchen anderen Parasiten auch. Wegen sonstiger Eigenheiten der Blüten- und Fruchtentwickelung usw. vgl. die Literatur. Die Knolle (z. B. von Balanophora globosa), in deren parenchymatischem Gewebe Reservestoffe gespeichert werden (sie führt „Balanophorin", eine wachsartige Substanz, die bei der Herstellung von Kerzen verwendet wird) und die auch als Wasserspeicher angesprochen wird, sitzt einem hypertrophierten Teil der Nährwurzel mittels eines thallusartigen Gewebes auf. In sie hinein erstrecken sich Seitenwurzeln der Wirtspflanze, in welche ebenfalls von der Spitze her thallusartige Elemente der Balanophora eindringen; solche brechen auch seitlich in die Aeste der Nährwurzeln ein, indem sie die diese umgebenden verholzten Zellen auflösen. Der „Thallus" besteht aus großen blasenartigen Zellen und ist als das Resorptionsgewebe des Parasiten anzusprechen. Den Anschluß zwischen den Leitungsbahnen (Phloem und Xylem) des Wirts und Schmarotzers vermitteln plasmareiche parenchymatische Zellen.

Cynomoriaceen: Sie sind wie die eben genannte Familie Ganzparasiten und wie diese von eigenartigem „fungoidem" Habitus, besitzen ein Rhizom mit Haustorien, vermittels deren sie auf den Wurzeln ihrer Nährpflanzen schmarotzen. Der Sproß ist unverzweigt, die Blätter schuppenförmig, Das Integument der Samenanlage zum Unterschied von den Balanophoraceen vorhanden, und zwar gänzlich geschlossen. Cynomorium coccineum, das im Mittelmeergebiet vorkommt, wird „Malteserschwamm" genannt, der „fungoide" Bau also schon im Namen festgelegt.

Lauraceen: Während die anderen Lauraceen autophytische Hölzer sind, umfaßt die Gattung Cassytha gegen 20 Arten, die nach Art unserer Cuscuta als krautige Lianen schlingen und sich mit Haustorien an den Stengeln, Blättern usw. ihrer Nährpflanze, meist Leguminosen, „festsaugen". Die Blätter sind zu kleinen Schuppen rückgebildet. Der Stengel führt Chlorophyll, vermittels dessen Cassytha nachweislich Stärke bildet. C. filiformis in den Tropen die Infloreszenz keulenförmig, reichblütig, weit verbreitet, andere Arten mit beschränkterem Areal.

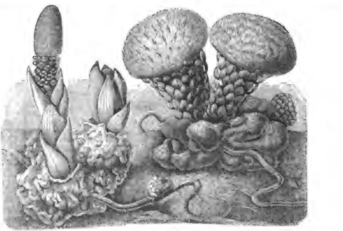


Fig. 3. Balanophoraceen, auf Wurzeln schmarotzend. Links: Scybalium, rechts: Balanophora. Nach Kerner. Aus Warming-Johannsen, Lehrb. d. allg. Botanik.

Rafflesiaceen: Ganzschmarotzer, die heimisch sind auf Java, Sumatra, den Philippinen, Siam, dem Himalaya, auf Malakka, in Südamerika, Afrika, Kleinasien, Syrien, Persien, dem Mittelmeergebiet, schmarotzen in Wurzeln und Stengeln von Holzgewächsen (Fig. 4); es sind die am vollkommensten an ihren Lebenswandel angepaßten phanerogamen Parasiten, denn ihr ganzer vegetativer Körper ist als Thallus entwickelt, teilweise reduziert auf pilzmycelähnliche Stränge, welche die Gewebe des Wirts durchwuchern, z. B. die sekundäre Rinde (Fig. 5),

Digitized by Google

und von dieser Zweige nach dem Holz des Wirts senden; wo diese das Cambium durchsetzen, machen sie das Dickenwachstum mittels einer interkalaren Teilungszone mit. Das „Mycel" schwillt im Innern des Wirts zu Parenchymballen an; an oder in diesen werden die Blütensprosse angelegt und brechen nach außen durch. Der Embryo ist auch hier ungegliedert. Am berühmtesten ist Rafflesia Arnoldi, deren Riesenblüten, die größten, welche die Pflanzenwelt überhaupt hervorbringt, unmittelbar der Nährwurzel, aus deren Rinde sie in Form von mit Schuppenblättern umhüllten Knospen, die mit apfelgroßen Kohlköpfen verglichen werden, hervorbrechen, am Erdboden aufsitzen. Die aufgeblühte Blüte, welche einen intensiven Aasgeruch verbreitet, welkt schon nach kurzer Zeit.

Hydnoraceen: Sie sind den Rafflesiaceen nahestehende Ganzschmarotzer, in Afrika, Patagonien, Argentinien, die in solcher Menge auftreten können, daß die Früchte der hierher gehörigen Gattung Prosopanche als Schweinefutter dienen.

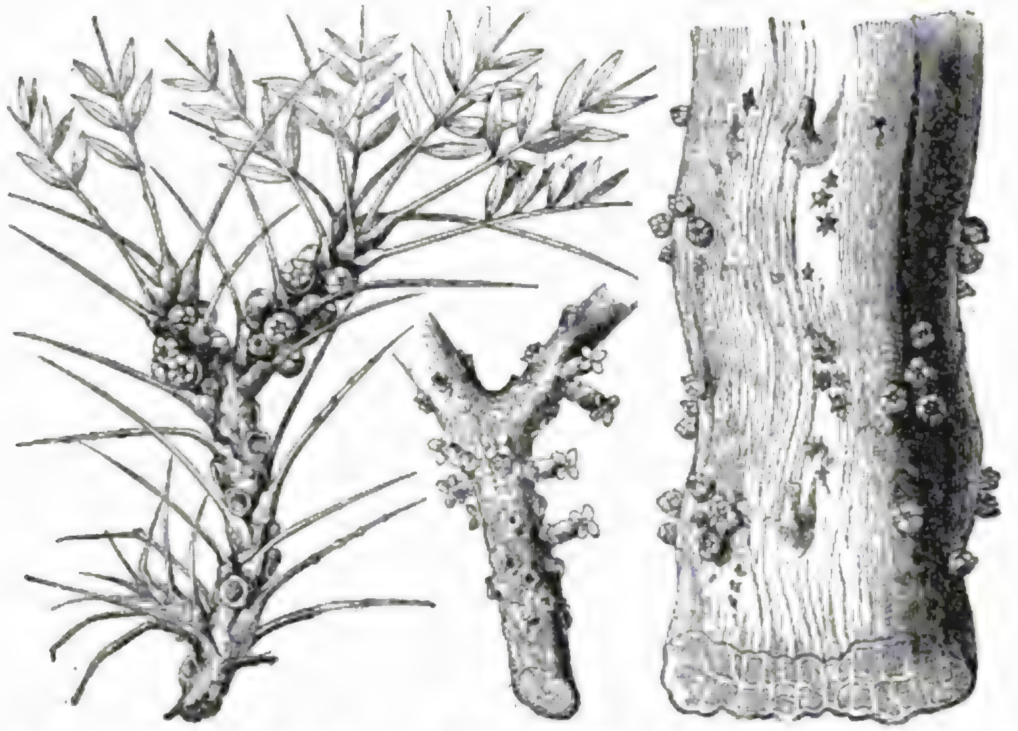


Fig. 4. Rafflesiaceen, auf Zweigen von Holzgewächsen; links und rechts: Pilostyles, in der Mitte: Apodanthes. Vegetationsorgane vollkommen im Wirt eingeschlossen, Blüten nach außen durchgebrochen. Nach Kerner. Aus Warming-Johannsen, Lehrb. d. allg. Botanik.

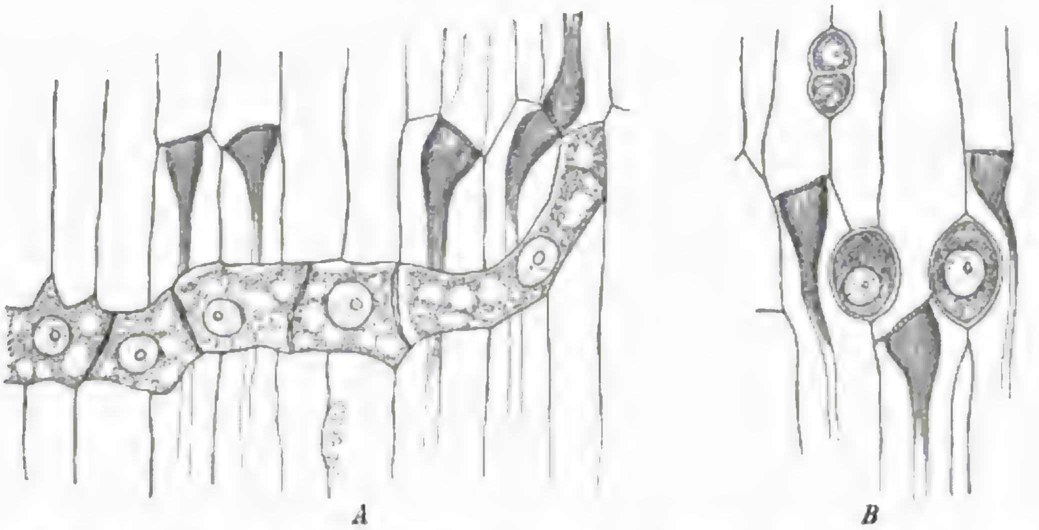


Fig. 5. Thallusfäden von Rafflesia Rochussenii im Siebteil der sekundären Rinde einer Cissuswurzel. A: Radialer, B: Tangentialer Schnitt durch die Rinde. Aus Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie.

Cuscutaceen: Cuscuta (Fig. 6) ist eine Liane mit äußerst chlorophyllarmem, nur mit kleinen Schuppenblättern besetztem Stengel. Dieser zeigt Perioden, in denen er gegen Berührung reizbar ist, die befallene Pflanze

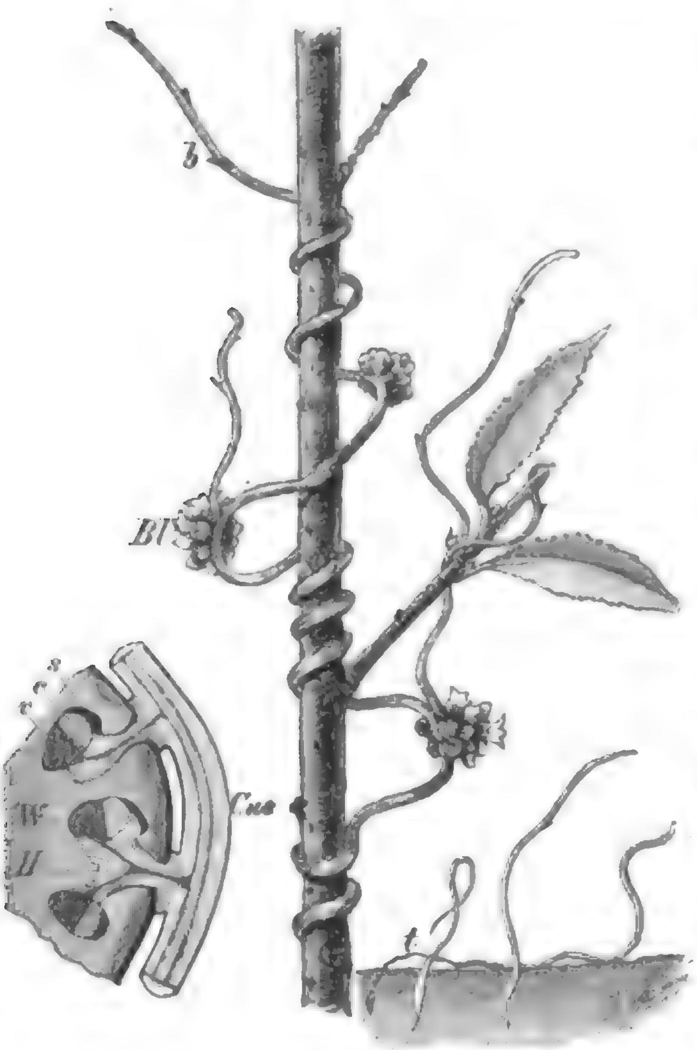


Fig. 6. In der Mitte ein Weidenzweig, umwunden von der schmarotzenden Cuscuta Europaea. An den warzenförmigen Anschwellungen des Cuscutastengels treten Haustorien in die Weide ein. b reduzierte Blättchen. Bl Blütenknäuel. Links: Verbindung des Schmarotzers (cus) mit einer Wirtspflanze. W: Die Haustorien H dringen teils in das Rindenparenchym ein, teils legen sie sich dicht an den Vasalteil v und den Cribealteil c der Gefäßbündel an, deren Sklerenchymkappe s sie zum Teil abheben. Rechts: Keimende Cuscuten, der längste Keimling kriecht am Boden, indem er vorn auf Kosten des absterbenden hintern Teils t weiter wächst. Figur nebst Erklärung aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

mit flachen Windungen umrankt und Haustorien in sie sendet, und damit abwechselnde Perioden, in denen besagte Reizbarkeit mangelt, und er unter Bildung steilerer Windungen den Wirt umschlingt und ihn so allmählich mehr und mehr befällt. Der Keimling zeigt keine oder nur verkümmerte Keimblätter und eine haubenlose Keimwurzel, die zunächst als Wasserreservoir dient, bald aber stirbt. Der Sproß führt revolutive Nutationen aus, gelangt so an Stengel anderer Pflanzen, die er umschlingt; an den Berührungspunkten bildet er infolge von Kontaktreizbarkeit Epidermiswucherungen (Prähaustorien), die oberflächlich in die befallene Pflanze eindringen und den Schmarotzer an ihr befestigen. Falls sie als Wirt taugt, brechen aus der Mitte des Prähaustoriums im Innern des Cuscutastengels angelegte Haustorien hervor, um unter Lösung der Zellwände der Wirtspflanze tief in deren Inneres einzudringen. Fäden aus parenchymatischen Zellen legen sich, „pinselförmig" sich ausbreitend, an gleiche Zellen des Wirtsgewebes an, die Gefäße von Parasit und Wirt treten in offene Verbindung, desgleichen bilden die Siebröhren gemeinsame Siebplatten aus. Cuscuta umfaßt 90 hauptsächlich amerikanische Arten, in Europa leben 9 Arten, die ohne strenge Wirtswahl andere Pflanzen befallen und als Schädlinge der Kulturpflanzen gefürchtet sind. Cuscuta europaea lebt auf vielen anderen Gewächsen, desgleichen C. lupuliformis, die z. B. vielfach auf Weiden, nicht aber auf Pappeln vorkommt.

Scrophulariaceen. Rhinanthoideen: Bei diesen Wurzelschmarotzern finden wir die schönsten Uebergänge zwischen typischen Halbparasiten, deren experimentelle Bearbeitung einwandfrei gezeigt hat, daß sie die Kohlensäure so kräftig assimilieren, daß sie sich genügend organische Substanz selbst herstellen und nur Mineralsalze vom Wirt beziehen, und chlorophyllfreien Holoparasiten. Die anspruchslosesten unter den hemiparasitischen Arten können auch ohne Wirt gedeihen, andere vermögen dann wenigstens vegetativ zu wachsen, oder finden ihr Auskommen, wenn sie Artgenossen befallen. Wir haben hier die Alectorolophusarten, einjährige Kräuter ohne strenge Wirtswahl, ferner die überwinternd einjährigen Euphrasiaarten, die ebenfalls kaum Wirtswahl zeigen. Diese zwei Gattungen umfassen die anspruchslosesten Rhinantoideen; auch die zweijährigen oder ausdauernden Pedicularisarten sind nicht anspruchsvoll; die perennierende Bartschia, die im vierten Jahr blühreif wird, entnimmt vielleicht ihrem Wirt große Mengen organischer Stoffe neben Nährsalzen. In der Gattung Melampyrum findet sich zunächst M. arvense, ein Schädling des Getreides, der aber auch andere Pflanzen, z. B. Holzgewächse, befällt. Es ist anspruchslos, begnügt sich mit dem Schmarotzen auf kleinen, einjährigen Wirten, kann sogar ohne Wirt bis zur Blüte gelangen; anspruchsvoller ist M. pratense, das Holz-

Digitized by Google

gewächse zu seinem Gedeihen verlangt, sodann M. silvaticum, das sich diesem ähnlich verhält, aber nicht so wählerisch ist. Besonders beachtenswert ist Tozzia, die 2 bis 3 Jahre als unterirdischer Ganzparasit lebt, dann zum Licht gelangt und hier vor der Blüte ein etwa einen Monat dauerndes halbparasitisches Dasein führt; weitergehende Anpassung an den Parasitismus als bei den obengenannten Gattungen findet sich insofern, als ein von einem Wirt ausgehender chemischer Reiz erforderlich ist, um die Keimung des Samens auszulösen. Endlich die bekannte gänzlich

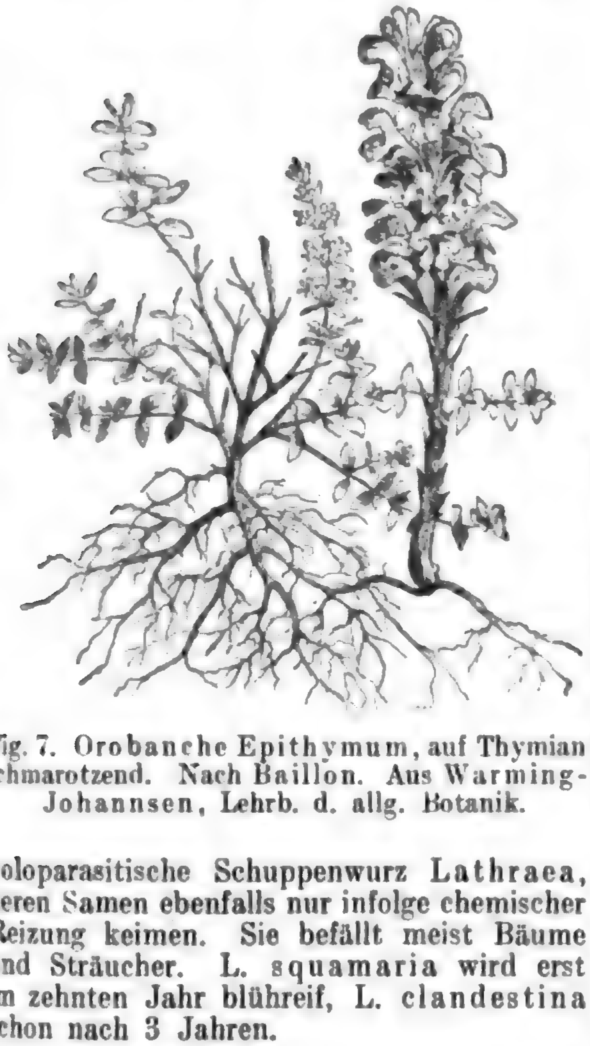


Fig. 7. Orobanche Epithymum, auf Thymian schmarotzend. Nach Baillon. Aus Warming-Johannsen, Lehrb. d. allg. Botanik.

holoparasitische Schuppenwurz Lathraea, deren Samen ebenfalls nur infolge chemischer Reizung keimen. Sie befällt meist Bäume und Sträucher. L. squamaria wird erst im zehnten Jahr blühreif, L. clandestina schon nach 3 Jahren.

Orobanchaceae: Orobanche (Fig. 7) umfaßt einjährige oder ausdauernde Ganzparasiten mit sehr geringem Chlorophyllgehalt. Die kleinen Samen, die einen völlig ungegliederten Keimling führen, keimen nur in Berührung mit der Wirtswurzel und bilden eine dieser aufsitzende, aus Keimwurzel und hypokotylem Glied entstehende Knolle, aus der mehr oder minder zahlreiche Adventivwurzeln hervorbrechen, sich ebenfalls an die Wirtswurzel anlegen, auch neuen Sproßvegetationspunkten Ursprung geben können (Fig. 8). Oberirdisch leben nur die gelblichbraunen oder amethystfarbigen, mit Schuppenblättern besetzten Blütensprosse. Einige Arten sind streng spezialisiert (z. B. O. hederae) andere nicht (z. B. O. ramosa, die „Hanfblume"). Die Schädigung der Kulturpflanzen

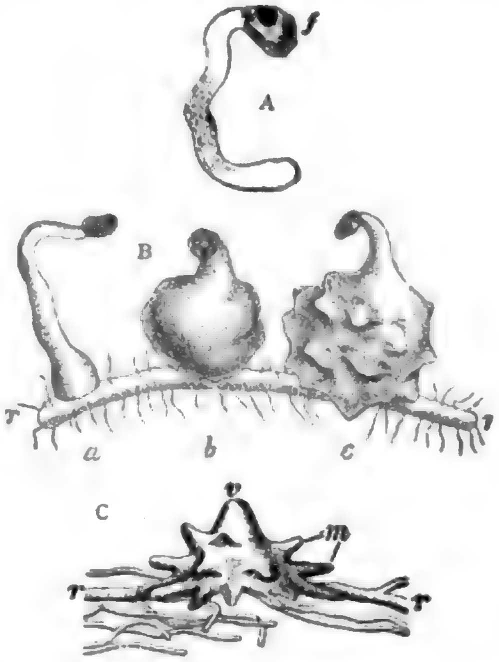


Fig. 8. Keimpflanzen von Orobanche ramosa. A Das Ende des Stengels ist noch in der Samenschale f eingeschlossen. B Drei Keimpflanzen in verschiedenen Entwicklungsstadien auf einer Wurzel r sitzend; **a** Das Wurzelende ist etwas angeschwollen, doch hat die Wurzel die Rinde erst zur Hälfte durchbrochen. **b** Das Hypokotyl ist stark angeschwollen, und mit der Wirtswurzel verwachsen. **c** Adventivwurzeln treten allmählich in Gestalt schwacher Auswüchse hervor. C Eine Keimpflanze, deren Stengelende v die Samenschale abgeworfen hat, die Adventivwurzeln sind stärker entwickelt als bei B, und legen sich an verschiedene Wurzeläste an. Nach Caspary. Aus Warming-Johannsen, Lehrb. d. allg. Botanik.

durch diese Parasiten ist bekannt. Auf nicht einheimische Vertreter der Orobanchaceen, Phelipaea, Aeginetia, usw. sei nur kurz hingewiesen.

Literatur. *In erster Linie sei verwiesen auf die Lehr- und Handbücher, welche Morphologie, Physiologie und Systematik der parasitischen Pflanzen behandeln, vor allen auf:* **Engler-Prantl,** *Pflanzenfamilien.* — **Engler,** *Pflanzenreich.* — **Haberlandt,** *Physiol. Pflanzenanatomie, 4. Aufl. 1909.* — **Jost,** *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. 1908.* — **Pfeffer,** *Pflanzenphysiologie, 2. Aufl. 1897—1904.* — **Strasburger** *und Mitarbeiter, Lehrbuch d. Botanik, 11. Aufl.;* **Warming-Johannsen,** *Lehrb. d. allgemeinen Botanik 1909.* — **Wettstein,** *Handbuch d. syst. Bot., 2. Aufl. 1911, und auf die in diesen Werken zitierte Literatur. Außerdem sind zu vergleichen: Ueber Gallenbildungen:* **E. Küster,** *Die*

Digitized by Google

Gallen der Pflanzen, Leipzig 1911. — **H. v. Guttenberg**, *Phys. Anat. d. Pilzgallen, Leipzig 1905.* — *Ueber Bakterien:* **W. Kruse**, *Mikrobiologie, Leipzig 1910.* — **Lehmann und Neumann**, *Atlas u. Grundriß d. Bakteriologie, 5. Aufl. 1912.* — *Ueber par. Protozoen:* **F. Doflein**, *Hdb. d. Protozoenkunde, 3. Aufl. 1911.* — *Ueber par. Algen:* **H. Eddelbüttel**, *Bot. Ztg. 1910, Bd. 68, 2. Abt., Sp. 186.* — **F. Oltmanns**, *Morph. u. Biol. d. Algen, Jena 1905, Bd. 2, S. 304 fg.* — *Ueber par. Pilze:* **E. Fischer**, *Ztsch. f. Bot., 1909 S. 284, 1910 S. 332 u. 1911 S. 621.* — **H. v. Guttenberg**, *Jahrb. f. wiss. Bot., 1909, Bd. 46, S. 453.* — **W. Bally**, *Jahrb. f. wiss. Bot. 1912, Bd. 50, S. 95.* — **E. Maire**, *progressus rei bot., 1911, Bd. 4, S. 109.* — **E. W. Olive**, *Phytopathology, 1911, Vol. 1, S. 139.* — **W. Krieg**, *Natw. Wochschr., 1908, Nr. 36.* — **G. Tischler**, *Flora, 1911, N. F Bd. 4, S. 1.* — *Ueber par. Flechten:* **H. Fitting**, *Ann. d. jard. bot. de Buitenz., 1909, 2. Ser., Suppl. 3, S. 105.* — **F. Tobler**, *Jahrb. f. wiss. Bot., 1911, Bd. 49, S. 389.* — **Derselbe**, *Ber. d. d. bot. Ges., 1911, Bd. 29, S. 3.* — *Ueber par. Phanerogamen:* **F. Arens**, *Bakt. Centralbl., 2. Abt., 1912, Bd. 32, S. 564.* — **A. Engler und K. Krause**, *Ber. d. bot. Ges. 1908, Bd. 26a, S. 524.* — **A. Ernst und E. Schmidt**, *Ebenda, 1909, Bd. 27, S. 176.* — **E. Heinricher**, *Jahrb. f. wiss. Bot., 1909, Bd. 46, S. 237, und 1910, Bd. 47, S. 539.* — **Derselbe**, *Aufzucht und Kultur d. parasitischen Samenpflanzen, Jena 1910.* — **Derselbe**, *Bakt. Centralbl., 2. Abt., 1912, Bd. 31, S. 254.* — **M. Körnicke**, *Ann. d. jard. bot. d. Buitz., 1910, 2. Sér., Suppl. 3, S. 665.* — **C. v. Tubeuf**, *Ref. in Bakt. Centralbl., 2. Abt., 1908, Bd. 21, S. 559, 1909, Bd. 24, S. 581, 1910, Bd. 22, S. 280 und 1911, Bd. 30, S. 117.* — **R. Seeger**, *Anz. d. Ak. d. Wiss., Wien 1910, Nr. 20, S. 131.* — **E. Strigl**, *Sitzb. Ak. Wiss. Wien, 1907, Bd. 116, und 1908, Bd. 117.*

W. Benecke.

Parasitismus.

1. Begriffsbestimmung und Arten des Parasitismus: a) Allgemeine Begriffsbestimmung. b) Die Formen des tierischen Parasitismus: α) Raumparasitismus und Commensalismus. β) Echte Parasiten. γ) Fakultative Parasiten. δ) Brutparasitismus. 2. Verbreitung des Parasitismus im Tierreich. 3. Einfluß des Parasitismus auf den Bau der tierischen Parasiten: a) Rückbildungen. b) Fortbildungen: α) Organe zur Nahrungsaufnahme. β) Allgemeine Körperform. γ) Haftapparate. 4. Stoffwechsel der Parasiten. 5. Einfluß des Parasitismus auf die Entwickelung der Parasiten: a) Fruchtbarkeit. b) Sicherung der geschlechtlichen Fortpflanzung. c) Wanderungen. d) Wirtswechsel. e) Generationswechsel. f) Heterogonie. 6. Einfluß der Parasiten auf ihren Wirt.

1. Begriffsbestimmung und Arten des Parasitismus. 1a) Allgemeine Begriffsbestimmung. Als Parasitismus (Schmarotzertum) bezeichnet man die Lebensweise gewisser Organismen, der Parasiten oder Schmarotzer, auf Kosten anderer Organismen, der sogenannten Wirte, auf oder in deren Körper die Parasiten sich aufhalten und ernähren. Im Gegensatz zu der räuberischen Lebensweise vieler Tiere, die den Tod des Opfers zur unmittelbaren Folge hat, ist die Schädigung des Wirtes durch einen einzelnen Parasiten meist eine verhältnismäßig geringe, seine Ausnutzung auch im Interesse des vom Leben des Wirtes abhängigen Lebens des Parasiten eine möglichst ökonomische, wenn sie auch naturgemäß mit der Zahl der Parasiten zunimmt und in gewissen Fällen zu schweren, unter Umständen tödlich endenden Krankheiten führen kann. Eine scharfe Grenze zwischen jenen beiderlei Lebensweisen läßt sich aber nicht ziehen.

Je nachdem, ob die Parasiten dem Tier- oder dem Pflanzenreich angehören, spricht man von tierischen und von pflanzlichen Parasiten, während man andererseits je nachdem, ob diese Parasiten Tiere oder Pflanzen heimsuchen, Zooparasiten und Phytoparasiten unterscheiden kann. Im folgenden sollen nur die Erscheinungen des tierischen Zooparasitismus, d. h. also des Schmarotzens von Tieren auf oder in anderen Tieren behandelt werden, zumal hierauf oft genug in der zoologischen Literatur der Begriff des Parasitismus im engeren Sinne beschränkt wird. Ueber tierische Phytoparasiten vgl. die Artikel „Gallen", „Nemathelminthen", und „Insekten", über pflanzliche Parasiten die Artikel „Bakterien", „Epiphyten", „Parasiten" und „Pilze".

1b) Die Formen des tierischen Parasitismus. α) Raumparasitismus und Commensalismus. Zahlreiche Tiere leben zwar regelmäßig auf oder in anderen Tieren, aber nicht auf deren Kosten; sie benutzen ihren Wirt nur als Wohnung, nicht aber auch als direkte Nahrungsquelle. Sie können hierbei echten Parasiten zum Teil sehr ähnlich erscheinen, wie dies einige der nachstehend angeführten Beispiele zeigen, trotzdem sind sie von solchen scharf zu unterscheiden; wir nennen sie Raumparasiten. Dahin gehören z. B. die Embryonen des Bitterlings (Rhodeus amarus), die sich in den Kiemenblättern der Teichmuschel entwickeln, in die hinein die Mutter mit Hilfe einer langen Legeröhre die Eier abgelegt hatte. Schutz vor äußeren Insulten ist in diesem Falle die offensichtliche Bedeutung dieses Raumparasitismus und ähnliches gilt auch für die marinen Turbellarien, die sich für die Dauer der Ebbe in die Mantelhöhle der Mießmuschel flüchten, um bei beginnender Flut wieder hervorzukommen, oder die ihre Eier in die von Einsiedlerkrebsen bewohnten Schneckenschalen ablegen. Siedeln sich die Raumparasiten auf der äußeren Oberfläche ihres Wirtes an,

Digitized by Google

so nennen wir sie im Anschluß an Kraepelin Epöken. So finden sich z. B. häufig auf der Haut von Seeschildkröten und Walen Cirripeden angesiedelt, die zum Teil sehr auffällige Veränderungen auf der Haut ihres Trägers hervorrufen: Coronula diadema führt bei dem sie beherbergenden Buckelwal (Megaptera) zu sehr erheblichen Wucherungen der Epidermis und die sich auf einem Wale der Antarktis ansiedelnde, nahezu zylindrische Tubicinella balaenarum lebt vollständig in die Haut ihres Trägers eingesenkt. Gleichwohl handelt es sich auch hier nicht um wirkliche Parasiten, da diese Balaniden ihre Nahrung nicht ihrem Träger, sondern dem umgebenden Wasser entnehmen. Die biologische Bedeutung ihres Raumparasitismus dürfte darin bestehen, daß sie von ihren Trägern durch weite Meeresstrecken geführt werden und ihnen hierdurch ihr Nahrungserwerb erleichtert wird. Jedenfalls hat nur ihr Raumparasitismus ihnen im Gegensatz zu der großen Mehrzahl der anderen, in die Nähe der Küsten gebannten oder doch nur ganz gelegentlich, z. B. mit Treibholz auf das offene Meer verschlagenen Cirripeden das Leben in der Hochsee ermöglicht. An echte Parasiten erinnern sie auch durch ihre Beschränkung auf bestimmte Wirte und als charakteristisches Beispiel für diese Spezifizität der Wirte sei noch die neben der erwähnten Coronula auf Megaptera lebende Lepadide Conchoderma auritum angeführt, die nie direkt auf der Haut des Wales, sondern stets auf der Coronula sitzt. Als Beispiel für das häufige Vorkommen einer epökischen Lebensweise auch in der Littoralregion und im Süßwasser sei auf die Suctorien hingewiesen, die ebenfalls fast durchweg an spezifische Wirte gebunden sind (vgl. den Artikel „Infusorien").

In Commensalismus geht der Raumparasitismus über, wenn die auf oder in anderen Tieren lebenden Tiere ihren Wirten einen Teil von deren eigener Nahrung entziehen und sie dadurch, wenn auch in anderer Weise wie die echten Parasiten, direkt schädigen. Solche Commensalen können ohne genaue Untersuchung ihrer Ernährungsweise leicht irrtümlich für echte Parasiten gehalten werden. Zwei Beispiele mögen dies erläutern: Die Mantelhöhle von Muscheln beherbergt nicht selten Commensalen und besonders charakteristisch ist die in Cyprina islandica und einigen anderen Arten lebende Malacobdella, ein bis ca. 25 mm lang werdender, zu den Nemertinen gehöriger Wurm, der sich mit seinem Saugnapf nach Art eines Blutegels an seinem Wirte festheftet, sich aber nur von den Diatomeen, Algen, kleinen Krustern u. dgl. ernährt, die die Muschel zu ihrer eigenen Ernährung herbeigestrudelt hat. Ein anderes Beispiel ist Myzostoma, ein scheibenförmiger Wurm, der auf der Mundscheibe ungestielter Crinoiden (Comatula) mit Saugnäpfen und Haken festgeklammert lebt und seinen Rüssel direkt in den Mund seines Trägers hineinstreckt, um an dessen Nahrung zu partizipieren.

β) Echter Parasitismus. Die echten Parasiten, welche auch ihre Nahrung direkt ihren Wirten entnehmen, werden je nachdem, ob sie auf der Oberfläche oder im Inneren ihrer Wirte leben, als Ectoparasita (bezw. Epizoa, soweit es sich um Tiere handelt; Beispiel: Läuse) und Entoparasita (bezw. Entozoa; Beispiel: Bandwürmer) unterschieden. Nach der Zeitdauer ihres Parasitismus unterscheidet man unter den obligatorischen Parasiten, d. h. denjenigen Organismen, welche nur als Schmarotzer zu leben vermögen, dauernde oder stationäre und zeitweilige oder temporäre Parasiten. Stationäre Parasiten sind solche, welche für längere Zeit an ihren Wirt gebunden sind. Sie können dabei entweder permanent (lebenslänglich) schmarotzen, ohne daß bei ihnen überhaupt freilebende Entwickelungsstadien vorkommen (Beispiele: Tänien, Trichine, Krätzmilben, Läuse), oder periodisch, indem in der Entwickelung der Individuen dauernd-parasitierende und freilebende Stadien gesetzmäßig auf einander folgen. Hierbei kann das geschlechtsreife Tier schmarotzen, nachdem es ein freilebendes Jugendstadium von mehr oder weniger langer Dauer durchgemacht hat (Beispiele: parasitische Kruster, die meisten Trematoden, Ancylostomum) oder es kann umgekehrt die Art im Jugendzustande schmarotzen und im erwachsenen Zustande frei leben (Beispiele: Ichneumoniden, Oestriden, Gordius). Hinsichtlich der Einzelheiten dieser verschiedenen Entwickelungsweise sei hier auf den unten folgenden Abschnitt über den Einfluß des Parasitismus auf die Entwickelung verwiesen. Temporäre Parasiten sind dagegen solche, welche sich nicht dauernd in bzw. auf ihren Wirten aufhalten, sondern diese nur zeitweise zum Zwecke ihrer Nahrungsaufnahme aufsuchen und sie nach derselben entweder stets wieder verlassen oder doch wenigstens ohne Schaden verlassen können. Unter ihnen finden wir daher auch keine Entozoen, sondern ausschließlich Ectoparasiten (Beispiele: Blutegel, Wanzen). Auch hier kann wieder der Parasitismus auf bestimmte Entwickelungsstadien beschränkt sein, während andere frei leben (Beispiele: viele Flöhe, deren Larven in den Nestern ihrer Wirte bezw. beim Menschenfloh in Dielenritzen u. dgl. nicht-parasitisch leben). Diese temporären Parasiten sind es, die, wie eingangs erwähnt, nicht scharf gegen räuberisch lebende Organismen abzugrenzen sind; werden doch z. B. die blutsaugenden Dipteren (Stechmücken, Tsetsefliegen und

Digitized by Google

andere) in der Regel nicht zu den Parasiten gerechnet, trotzdem ihre Ernährungsweise durchaus derjenigen der als Parasiten betrachteten Blutegel und blutsaugenden Wanzen (Cimex, Conorhinus) entspricht.

γ) Fakultativer Parasitsmus. Fakultative Parasiten sind im Gegensatz zu den echten oder obligatorischen Parasiten Organismen, die ebensogut saprophytisch wie parasitisch zu leben vermögen. Hierher gehören z. B. manche Fliegenlarven, die im Larvenzustande normalerweise von toten und zerfallenden organischen Substanzen leben, durch deren Fäulnisgeruch die weiblichen Fliegen angelockt werden, um dann an ihnen die Eier abzulegen. In gleicher Weise können nun auch vernachlässigte Wunden, stark sezernierende Geschwüre oder übelriechende Ausflüsse aus Nasen, Ohren und Genitalien des lebenden Menschen oder auch anderer höherer Organismen anlockend wirken. Aus den erkrankten Körperteilen dringen die sich entwickelnden Larven dann früher oder später auch in die angrenzenden noch gesunden Gewebe vor, in denen sie, ganz nach Art echter Parasiten lebend, geradezu ungeheure Zerstörungen anrichten können.

δ) Brutparasitismus. Von Brutparasitismus endlich sprechen wir, wenn ein Tier die Brutpflege, welche ein anderes übt, zuungunsten von dessen Nachkommenschaft für seine eigenen Zwecke ausnützt. Die Brutparasiten schlagen im Gegensatz zu den echten Parasiten ihre Wohnung nicht auf oder gar in den Körpern ihrer Opfer auf, sondern in deren Nestern. Ein Brutparasit ist z. B. der Kuckuck, der seine Eier in fremde Nester legt und dessen Junge derartig heißhungrig sind, daß ihre Pflegegeschwister bei der Fütterung seitens der Eltern zu kurz kommen und der von dem fremden Nestinsassen bereiteten Nahrungskonkurrenz erliegen, selbst wenn sie nicht, was oft genug vorkommt, von ihm aus dem Nest herausgeworfen werden. In ähnlicher Weise legen die Schmarotzerbienen ihre Eier in die von anderen Bienen gebauten Zellen, in denen dann ihre Larven sich auf Kosten des rechtmäßigen Insassen von den eingetragenen Vorräten nähren. Brutparasiten sind ferner gewisse Käfer, wie Meloe, deren aus dem Ei ausgeschlüpfte Larven auf Pflanzen, besonders Blüten hinaufklettern und sich nur weiter entwickeln können, wenn es ihnen gelingt, von dort in den Haarpelz einer vorüberfliegenden Biene zu gelangen und von dieser zu dem Neste getragen und dort in einer Zelle mit eingeschlossen zu werden, in der sie dann auf Kosten des eigenen Eies der Wirtsbiene heranwachsen. Von den zahlreichen anderen Brutparasiten, die wir unter den Insekten finden, sei nur noch kurz auf die Myrmecophilen und Termitophilen hingewiesen, die in den Nestern der Ameisen und Termiten hausen und sich dort, wie z. B. Lomechusa strumosa von Formica sanguinea, von ihren Wirten hegen und pflegen lassen, während sie selbst sich in räuberischer Weise von den Larven ihrer Wirte ernähren.

2. Verbreitung des Parasitismus im Tierreich. Nur unter den Stachelhäutern (Echinodermata) und den Manteltieren (Tunicata) sind bisher keine Parasiten bekannt, alle anderen Hauptabteilungen des Tierreichs enthalten solche in mehr oder weniger großer Zahl. Sogar den Wirbeltieren ist der Parasitismus nicht fremd, indem die Schleimfische (Myxine) in den Körper anderer Fische (Dorsche, Heilbutten, Störe und andere) eindringen, um in deren Muskulatur oder Leibeshöhle zu schmarotzen und schließlich den Körper ihres Wirtes mehr oder weniger vollständig bis auf Haut und Knochen aufzuzehren. Andererseits gibt es eine Reihe von Klassen oder Ordnungen des Tierreichs, deren Angehörige sämtlich echte Parasiten sind, wie die Sporozoa, Trematodes, Cestodes und Acanthocephala. Wie jedoch in ein und derselben Ordnung freilebende und parasitische Organismen vereinigt sein können, so können entsprechend in einer Ordnung auch verschiedene Formen des Parasitismus vertreten sein. So ist z. B. bei den durchweg parasitischen Flöhen der Parasitismus des Menschenflohes (Pulex irritans) ein temporärer; schon die Flöhe der Fledermäuse (Ischnopsylliden) sind sehr viel mehr an ihren Wirt gebunden und daher wohl besser als stationäre Parasiten anzusprechen und zweifellos ist der stationäre Parasitismus bei den festsitzenden Flöhen der Huftiere (Vermipsylliden) und bei dem Sandfloh des Menschen (Sarcopsylla), welch letzterer sogar von einer entzündlichen Hautwucherung umwallt wird, so daß er schließlich völlig in die Haut eingedrungen zu sein scheint. Andererseits finden sich z. B. unter den Nematoden permanente und periodische, unter den Trematoden Ekto- und Entoparasiten.

Infolge der Verteilung der Parasiten auf die verschiedensten systematischen Kategorien ist ihre Organisation naturgemäß eine sehr verschiedene; gleichwohl aber hat die charakteristische schmarotzende Lebensweise auch Bau und Entwickelung der verschiedenartigen Parasiten in charakteristischer Weise beeinflußt.

3. Einfluß des Parasitismus auf den Bau der tierischen Parasiten. Dieser zeigt sich einmal in Rückbildungen, daneben aber auch in Fortbildungen und kann so weit gehen, daß jede Aehnlichkeit des Parasiten mit seinen freilebenden Verwandten schwindet, wie dies in ausgesprochenster Weise die in Synapta schmarotzende einfach schlauch-

Digitized by Google

förmige **Entoconcha mirabilis** zeigt, deren Zugehörigkeit zu den Gastropoden aus ihrer Entwickelungsgeschichte zweifellos hervorgeht, obwohl sie im erwachsenen Zustande keine einzige spezifische Eigentümlichkeit dieser Klasse mehr besitzt.

3a) **Rückbildungen.** Die Rückbildungen betreffen alle Organe, die bei der parasitischen Lebensweise entbehrlich sind, in erster Linie Sinnes- und Bewegungsorgane, in vielen Fällen aber auch die Organe der Nahrungsaufnahme. Bei Entozoen sowohl wie dauernd festgehefteten Ektoparasiten fehlen die Augen, auch wenn solche bei freilebenden Verwandten gut ausgebildet sind; oft genug sind sie auch bei freilebenden Larvenstadien solcher Parasiten vorhanden, um erst nach deren Uebergang zur parasitischen Lebensweise zu degenerieren, ein Beweis, daß es sich hier in der Tat um eine Rückbildung infolge des Parasitismus handelt. Aehnliches gilt auch für die Bewegungsorgane, deren gradweise Rückbildung wir speziell bei ver-

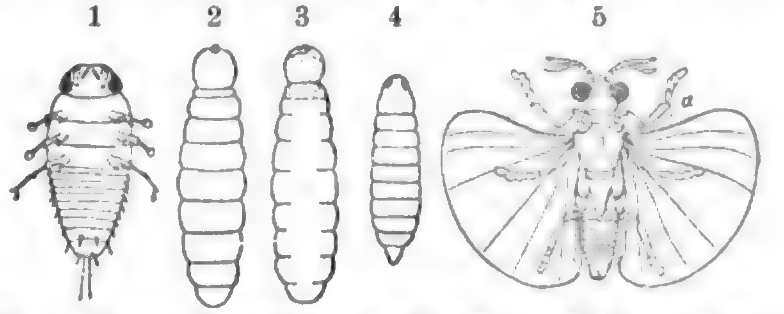


Fig. 1. **Xenos** (**Strepsiptere**, vgl. den Artikel „**Insekten**"). 1 bis 4 **X. rossii**, 5 **X. peckii**. 1 Neugeborene Larve mit gut entwickelten Augen und 3 Beipaaren, die an ihren Enden Haftscheiben tragen, mit denen sich das Tier auf dem Körper einer Wespe festhalten kann. Es bohrt sich dann aber sehr bald zwischen 2 Hinterleibsringen seines Wirtes ein, um unter alsbaldigem Verlust von Augen und Extremitäten in dessen Abdomen heranzuwachsen. 2 Erwachsene weibliche Larve ohne Augen und ohne Extremitäten. 3 Geschlechtsreifes Weibchen (Imago), verbleibt in der Puppenhülle im Inneren seines Wirtes, aus dem nur das Hinterleibsende mit der Geschlechtsöffnung herausragt. 4 Erwachsene männliche Larve. 5 Männchen, freilebend, mit großen Augen, normalen Beinen und einem Paar kräftiger Flügel, a rudimentärer Vorderflügel des Männchens. Aus **Ziegler**. 1 bis 4 nach v. **Siebold**, 5 nach **Kirby**.

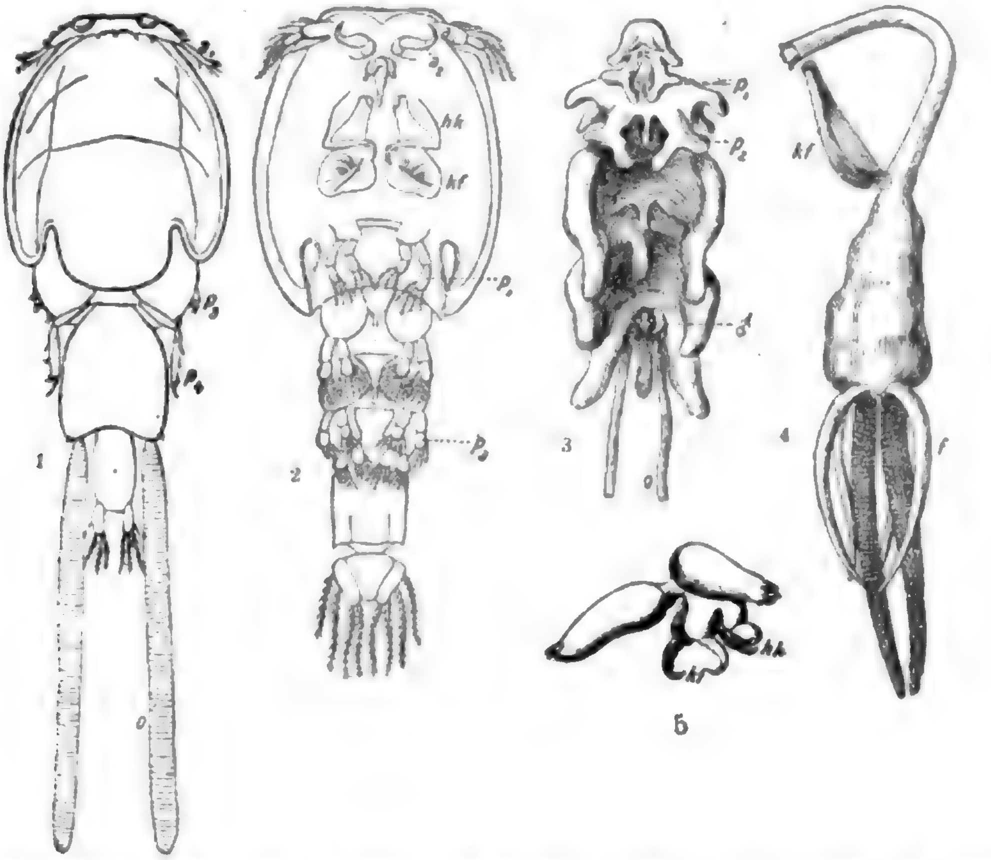


Fig. 2. Parasitische Copepoden mit verschieden weit gediehener Rückbildung der Extremitäten und der Segmentierung des Körpers. Alle Arten haben frei schwimmende Larven mit kräftigen Ruderfüßen. 1 **Caligus rapax** (auf der Haut verschiedener Fische). ♀. Rückenansicht. 2 **Nogagus borealis.** ♂. Bauchansicht. 3 **Chondracanthus gibbosus** (auf den Kiemen von Lophius). ♀ Bauchansicht (♂ = das kleine, an der Genitalöffnung des Weibchens sitzende Männchen). 4 **Brachiella thynni** (mit dem rüsselartig verlängerten Kopfende in der Haut der Achselhöhle des Thunfisches festsitzend), ♀. 5 ♂ der gleichen Art, stärker vergrößert, Seitenansicht. a_1 vordere Antenne, a_2 hintere Antenne, f Anhang am Hinterende, hk Hinterkiefer, kf Kieferfuß, o Eiersack, p_1—p_4 1.—4. Beinpaar. Aus **Boas**.

Digitized by Google

gleichender Untersuchung verschiedener parasitischer Kruster sehr schön verfolgen können. Figur 1 und 2 mögen das Gesagte verdeutlichen (vgl. auch Fig. 4). Auch das Fehlen der Flügel bei Flöhen, Läusen und Bettwanzen gehört hierher.

Weniger allgemein ist die Rückbildung oder das völlige Fehlen der Ernährungsorgane bei den Parasiten; indessen ist auch sie keineswegs selten. Während alle anderen Wimperinfusorien mehr oder weniger komplizierte Apparate zur Nahrungsaufnahme besitzen, fehlen solche bei einer Reihe entoparasitischer Arten völlig (bei der eben deswegen als **Astomata** bezeichneten Unterordnung der Holotrichen und den mit dieser, trotz Uebereinstimmens im Fehlen der Mundöffnung, nicht näher verwandten **Opalinen**). Und unter den Mehrzelligen fehlt jede Spur eines Darmkanals oder sonstiger besonderer Ernährungsorgane den ganzen Klassen der **Bandwürmer** und der **Acanthocephalen**. In einem nährstoffreichen Medium lebend (meist im Darmkanal, dessen Speisebrei ihre Nahrungsquelle darstellt), ernähren diese Parasiten sich einfach auf osmotischem Wege vermittels Aufnahme flüssiger Nährstoffe durch die Haut des ganzen Körpers hindurch. Auch bei periodischen Parasiten mit freilebenden Jugendstadien kann im Anschluß an den Uebergang zur parasitischen Lebensweise eine starke Reduktion oder gar ein völliger Schwund des Darmes und seiner Anhänge eintreten (z. B. bei Rhizocephalen und parasitischen Schnecken).

3b) **Fortbildungen.** Fortbildungen bei Parasiten zeigen sich einmal in der den neuen Funktionen angepaßten Umwandlung der Organe für die Nahrungsaufnahme, die wir bei vielen Arten finden, ferner in Anpassungen der allgemeinen Körperform an den Wohnsitz, vor allem aber in der Ausbildung besonderer Haftorgane, die den Tieren ihren Wohnsitz sichern, sie gegen ein Abgestreift- oder Fortgespültwerden schützen.

α) Besondere Anpassungen der **Organe zur Nahrungsaufnahme**, die sehr verschiedenartiger Natur sein können, finden wir vor allem bei solchen Ektoparasiten, die sich von den Säften ihrer Wirte ernähren und daher besonderer Organe bedürfen, um durch die Haut hindurch zu diesen Säften zu gelangen. Dahin gehören die verschiedenen Umformungen der Mundwerkzeuge zu einem Stechrüssel, die wir bei vielen parasitischen Krustern (die parasitischen Copepoden werden deshalb direkt Siphonostomen genannt) und bei allen blutsaugenden Insekten finden, bei Wanzen, Läusen, Flöhen, Stechmücken und Stechfliegen. Dahin gehören ferner die Mundwerkzeuge der Blutegel, die entweder ebenfalls von einem kräftigen vorstreckbaren Rüssel gebildet werden oder von 3 kräftigen Kiefern, die an ihrem freien Rande mit einer Reihe zahnartiger Bildungen besetzt sind, mit deren Hilfe sie die Haut ihres Opfers direkt durchsägen (Fig. 3). Dahin gehören

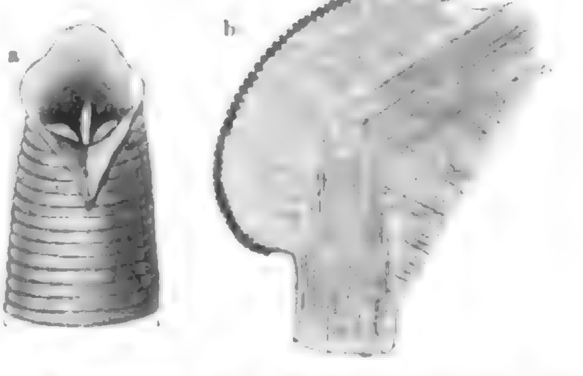


Fig. 3. Kiefer von **Hirudo medicinalis**. a Vorderende des Blutegels mit in der Mittellinie gespaltener Unterlippe, um die 3 in der Mundhöhle gelegenen Kiefer zu zeigen. b Ein einzelner Kiefer, stärker vergrößert. Nach **Hertwig**. Etwas geändert.

weiter, um noch ein andersartiges Beispiel anzuführen, die wurzelähnlichen Ausläufer der Rhizocephalen, mit denen diese den ganzen Körper ihres Wirtes durchziehen: die anfangs frei herumschwimmenden Larven (Fig. 4, 1 und 2) setzen sich auf der Haut ihres künftigen Wirtes an, entsenden bei gleichzeitigen Verlust ihrer Bewegungsorgane einen rüsselartigen Fortsatz durch die Haut hindurch und dieser zunächst einfache Rüssel treibt alsbald zahlreiche Sprosse, die schließlich zu den erwähnten wurzelartigen Ausläufern auswachsen und durch Osmose die Säfte des Wirtes aufnehmen und dem einfach sackförmig gewordenen Körper des Parasiten zuführen (Fig. 4, 3).

β) Als Beispiel für Anpassungen der **allgemeinen Körperform** sei hingewiesen auf die starke dorsoventrale Abplattung der Karpfenlaus (**Argulus foliaceus**), die es dem Tiere ermöglicht, sich aufs engste der Haut des heimgesuchten Fisches anzuschmiegen, und auf die kaum minder starke seitliche Abflachung der Flöhe (am stärksten bei den Flöhen der Fledermäuse, bei denen sie sich im Gegensatz zu dem Menschenfloh auch auf den Kopf erstreckt), die den Tieren die Bewegung zwischen den Haaren ihrer Wirte erleichtert. Durch besondere, nach der gleichen Richtung wirkende Gestaltung einzelner Körperteile kann diese Anpassung noch weiter verstärkt werden, wie am schönsten die sichelförmige, die Haare des Wirtes wie ein scharfer Kiel auseinanderdrängende Gestalt des Vorderendes des Kopfes bei **Stephanocircus** zeigt (Fig. 5).

γ) Die **Haftapparate** der Parasiten treten uns in 3 verschiedenen Ausbildungsformen

Digitized by Google

entgegen, als wurzelähnlich in die Gewebe des Wirtes hineinwachsende Fortsätze, als Saugorgane und als verankernde Hakenbildungen.

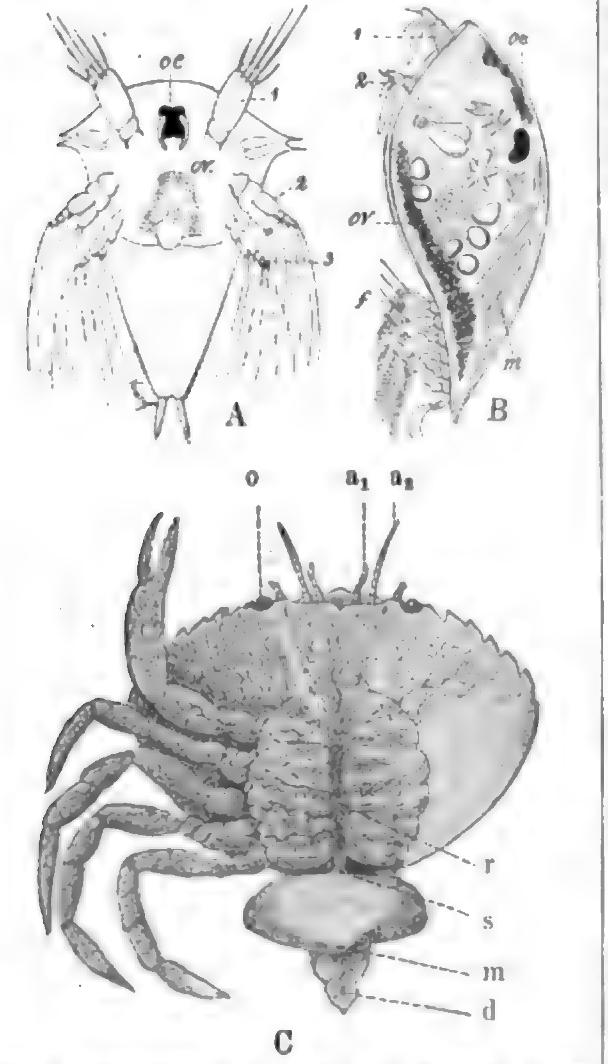


Fig. 4. Sacculina carcini. A jüngste Larve (Nauplius). B Aeltere, ebenfalls noch freischwimmende Larve (Cyprisstadium). C Erwachsener Parasit, an Carcinas maenas, dessen Abdomen dorsal zurückgeschlagen ist, um die von ihm sonst zum Teil verdeckte Sacculina vollständig zu zeigen, und dessen Extremitäten nur zum Teil dargestellt sind. — 1 Erste Antenne, 2 Zweite Antenne, 3 Mandibel der Larven. a_1 und a_2 1. und 2. Antenne und d After des Wirtes, f Rankenfüße des Cyprisstadiums, m Muskeln (in Fig. B) bezw. Schalenöffnung (in Fig. C), o Auge des Wirtes, oc Auge der Sacculinalarve (bei erwachsenen Parasiten ebenso wie die Extremitäten völlig rückgebildet), r den Körper des Wirtes durchsetzendes Wurzelgeflecht und s Stiel des Parasiten. Nach Delage. Aus Hertwig.

Wurzelähnliche Fortsätze sind verhältnismäßig selten; außer bei den Rhizocephalen, bei denen sie schon wegen ihrer neben der Haftfunktion in den Vordergrund tretenden ernährungsphysiologischen Bedeutung erwähnt wurden, finden sie sich vor allem noch bei einigen Gregarinen (besonders zahlreich und lang bei dem im Darm von Scolopendern schmarotzenden Pterocephalus) und auch bei diesen wird ihnen neben ihrer Funktion als Haftapparate noch eine solche für osmotische Nahrungsaufnahme zugeschrieben. Wesentlich weiter verbreitet sind die beiden anderen Typen von Haftapparaten, die zwar außerordentlich verschieden ausgebildet sind, aber bei stationären Parasiten nur selten völlig fehlen und oft genug beide nebeneinander vorkommen.

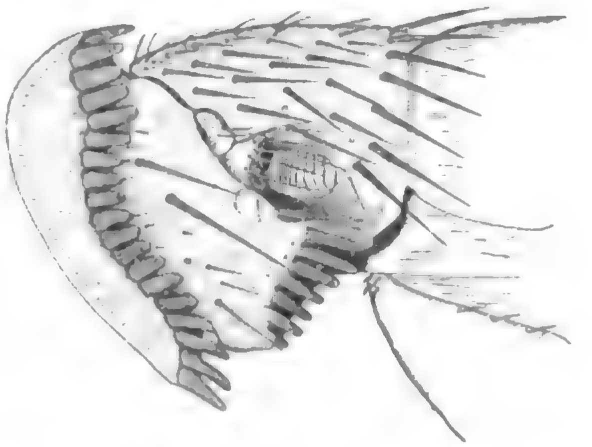


Fig. 5. Kopf von Stephanocircus simpsoni Rothsch., ♀, einem auf kleinen Säugetieren Australiens schmarotzenden Floh mit sichelförmigem, scharf gekieltem Vorderende. Nach Originalzeichnung von Dr. Dampf. Vergr. 72 : 1.

Saugorgane finden sich unter den parasitischen Protozoen als einfache, noch sehr wenig differenzierte grubige Einsenkungen der Oberfläche bei einzelnen Flagellaten (z. B. Lamblia) und in bereits etwas komplizierterer Form bei einigen Infusorien (vor allem Trichodina, Cyclochaeta, Licnophora). Allgemein verbreitet sind sie bei Trematoden und Cestoden unter den stationären, bei den Hirudineen unter den temporären Parasiten in Form von grubigen Hauteinsenkungen, die von einer eigenen, kräftigen, ihre Abflachung und stärkere Vertiefung bewirkenden Muskulatur umgeben sind. Strahlt diese Muskulatur ohne scharfe Abgrenzung in das umgebende Gewebe aus (wie z. B. bei den Bothriocephalen), so spricht man von Sauggruben. Meist jedoch haben die Saugorgane eine größere Selbständigkeit erreicht, indem ihre Muskulatur durch eine Membran scharf von dem angrenzenden Gewebe geschieden ist; in der Regel bilden dann sowohl die innere Begrenzung des grubigen Hohl-

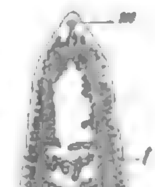


Fig. 6. Polystomum integerrimum aus der Harnblase des Frosches. m Mundöffnung, s Saugnäpfe, t Darm. Aus Boas.

Digitized by Google

raumes wie auch die äußere Abgrenzung der zugehörigen Muskulatur ziemlich regelmäßige Kugelsegmente (z. B. bei allen Tänien, den meisten Trematoden, dem Saugorgan am Hinterende aller Hirudineen) und in diesem Falle spricht man von Saugnäpfen (vgl. Fig. 6). Kompliziertere Haftorgane finden sich namentlich bei den Holostomiden (vgl. hierüber den Artikel „Plathelminthes"). In ähnlicher Form wie bei den vorstehend als Beispiel herangezogenen Würmern finden sich Saugorgane auch bei verschiedenen Parasiten aus anderen Tierklassen ausgebildet (z. B. unter den Crustaceen bei der Karpfenlaus,

Fig. 7. Schnitt durch einen einzelnen Saugnapf von Polystomum integerrimum, der sich bei der Konservierung zwar etwas gelockert hat, aber gleichwohl noch die von ihm angesogene Falte der Harnblasenwandung des Frosches umfaßt. Bl Blutgefäß, Hw Harnblasenwandung, R Rückziehmuskeln des Saugnapfes, S Saugnapf. Original.

Argulus foliaceus), bei den in der Regel mit Klammerorganen versehenen Arthropoden sind sie jedoch selten. Gelegen sind die Saugorgane parasitischer Metazoen entweder

Fig. 8. Festgesaugter Blutegel. Nach Ziegler.

auf der Bauchfläche, an der sie nicht selten ganz ans Hinterende rücken, oder (bei den Cestoden) im Umkreise des Vorderendes; bei den parasitischen Nematoden kann durch die Mitwirkung des muskulösen Pharynx eine der Tätigkeit besonderer Saugorgane entsprechende Anheftung mit der Mundhöhle vorkommen (am ausgesprochensten bei der Mundkapsel der Sclerostomiden).

Der Ausbildungsgrad der Saugorgane ist bei den verschiedenen Parasiten ein sehr verschiedener und steht in offensichtlichem Zusammenhang mit der Lebensweise des Parasiten bezw. mit der ihm drohenden Gefahr des Abgestreiftwerdens, deren Größe ihrerseits wieder von dem Sitz des Parasiten abhängt. Wir finden daher verhältnismäßig sehr kräftige Saugorgane bei Ektoparasiten (soweit bei diesen nicht, wie z. B. bei den meisten Arthropoden, andere Haftorgane vorhanden sind) und zwar auch dann, wenn es sich nicht um dauernd festsitzende, sondern nur um temporäre Schmarotzer handelt (z. B. Hirudineen, Fig. 8, und Argulus). Unter den entoparasitischen Distomen sind Saugorgane ganz auffällig kräftig bei den in der Kloake von Vögeln schmarotzenden Arten, die dort ja einer sehr großen Reibung ausgesetzt sind (Fig. 9), und umgekehrt auffällig schwach bei den in Gallengängen und Gallenblase schmarotzenden Formen, da diese gegen ein Fortgerissenwerden schon durch ihren Sitz besser geschützt sind wie die Darmparasiten. Andererseits hängt der Ausbildungsgrad der Saugorgane naturgemäß auch noch davon ab, ob etwa neben ihnen noch andere Haftorgane vorhanden sind; so hat z. B. unter den Tänien des Menschen die unbewaffnete Taenia saginata erheblich kräftigere Saugnäpfe wie die einen Hakenkranz tragende Taenia solium.

Verankerung durch Hakenbildungen ist nicht minder weit verbreitet wie Anheftung durch Saugorgane. Auch sie findet sich bereits bei Protozoen (Widerhaken am Epimerit mancher Gregarinen). Bei parasitischen Plattwürmern sind Haken sehr häufig neben Saugorganen vorhanden, sei es in direktem räumlichem Zusammenhang mit diesen (z. B. bei den ektoparasitischen Trematoden, Fig. 10, und den Cestoden der Selachier), sei es in kranzförmiger Anordnung um das Vorderende des Parasiten, das dann häufig rüsselartig vorstreckbar ist (z. B. bei den ein bewaffnetes Rostellum besitzenden

Digitized by Google

Tänien, Fig. 11). Stets findet sich in Zusammenhang mit diesen Haken eine besondere Muskulatur, die sie abspreizen und anziehen kann. In anderen Fällen (bei

Fig. 9. Stomylus singularis aus dem Enddarm von Glareola pratincola. 24:1. Nach Looß.

Fig. 10. Gyrodactylus elegans v. Nordm. Ektoparasit des Karpfens mit einer Haftscheibe, die zwei große Mittel- und 16 kleinere Randhaken trägt. Vergrößerung 120:1. Nach Kathariner. Aus Lühe.

Fig. 11. Hakenbewaffnetes Rostellum von Lateriporus teres, einer Tänie aus nordischen Entenarten. Vergrößerung 120:1. Nach Krabbe. Aus Lühe.

Tetrarhynchen und Echinorhynchen) stehen zahlreiche Haken in mehr oder weniger regelmäßiger Quincunxstellung auf langen Rüsseln, die handschuhfingerartig einstülpbar sind und bei Ausstülpung sich in den Darm des Wirtes einbohren, um dort mit ihren zahlreichen Widerhaken sehr fest zu haften (Fig. 12). Auch die Zahnbildungen der Mundkapsel vieler Sclerostomiden (z. B. Ancylostomum) sind als der Fixierung dienende Widerhaken aufzufassen. Das vorherrschende

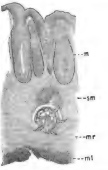


Fig. 12. Schnitt durch die Darmwandung eines Fisches, in dem der bis in die Muscularis eingedrungene, widerhakenbesetzte Rüssel eines Echinorhynchus getroffen worden ist. Original. m Mucosa, ml Längsmuskulatur, mr Ringmuskulatur, sm Submucosa des Darmes. Vgl. hierzu den Artikel „Nemathelminthen".

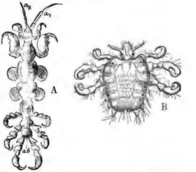


Fig. 13. Zu Klammerorganen umgestaltete Extremitäten bei ektoparasitischen Arthropoden. A Caprella acutifrons a_1 erste, a_2 zweite Antenne, jeweils nur auf einer Seite gezeichnet, ab stummelförmiges Abdomen. Nach P. Mayer. Aus Ziegler. B Filzlaus des Menschen, Phthirius inguinalis. Nach Leuckart. Aus Hertwig.

Digitized by Google

oder alleinige Haftorgan sind Hakenbildungen ferner bei den parasitischen Arthropoden und zwar dienen hier Extremitäten (bei Copepoden die Maxillen und Maxillarfüße, bei anderen Krustern verschiedene Extremitäten, bei den Insekten die 3 Beinpaare) durch die Umgestaltung der Endglieder zu kräftigen Haken als fixierende Klammerorgane (vgl. Fig. 13).

4. **Der Stoffwechsel der Parasiten.** Der Stoffwechsel zeigt speziell bei den Darmparasiten ebenfalls charakteristische Eigentümlichkeiten. Da der Darminhalt der höheren Wirbeltiere auch bei genauester Untersuchung keine quantitativ nachweisbaren Sauerstoffmengen aufweist, so müssen die in ihm lebenden Parasiten eine andere Energiequelle besitzen wie die freilebenden Tiere, in denen mit Hilfe aufgenommenen freien Sauerstoffs Oxydationsvorgänge sich abspielen. Sie gewinnen die zum Leben nötige Energie durch Zerlegung sauerstoffreicherer Nährstoffe in sauerstoffärmere Verbindungen. So nimmt z. B. der Spulwurm das ihm an seinem Wohnsitz in reichlicher Menge zur Verfügung stehende Glykogen auf und zersetzt es unter Abscheidung von Kohlensäure und niederen Fettsäuren (Valeriansäure). Da die abgeschiedenen Fettsäuren noch reichliche latente Energie enthalten, die durch weitergehende Oxydation entbunden werden könnte, so ist die Ausnutzung der Nährstoffe eine sehr unvollständige und eine derartige Stoffverschwendung ist nur infolge des Lebens in einem sehr nährstoffreichen Medium möglich. Eine zweite Eigentümlichkeit der im Darm schmarotzenden oder ihn wenigstens passierenden Entoparasiten besteht darin, daß sie von den verdauenden Darmsäften ihrer Wirte nicht angegriffen werden. Sie müssen also Stoffe enthalten, die die Verdauungsfermente ihrer Wirte unwirksam machen. Im einzelnen ist hierüber noch sehr wenig bekannt; es muß aber, zum Teil wenigstens, mit dieser Stoffwechselfrage zusammenhängen, daß so vielfach bestimmte Parasiten nur in ganz bestimmten Wirten vorkommen, daß es z. B. unmöglich ist, die Taenia solium des Menschen etwa im Hunde zur Ansiedelung und Entwickelung zu bringen. Andererseits produzieren die Entoparasiten nicht selten Stoffe, die eine Giftwirkung auf den Wirt ausüben, deren Kenntnis sich aber auch noch im Anfangsstadium befindet. Unter den Protozoen ist ein solches Toxin besonders bei Sarcosporidien nachgewiesen und genauer untersucht worden, aber auch bei endoparasitischen Helminthen scheint es allgemein verbreitet zu sein; zum Teil äußert es sich bei diesen in direkten Krankheitserscheinungen des Wirtes (z. B. Ancylostomum, Bothriocephalus; näheres siehe weiter unten), zum Teil ist es dadurch nachgewiesen worden, daß im Serum des Wirtes mit Hilfe der in der modernen Bakteriologie eine so große Rolle spielenden Komplementbindungsmethode spezifische Gegengifte (Antikörper) festgestellt werden konnten (z. B. bei Echinococceninvasion; ferner bei Hammeln, die von Cysticercen oder von Leberegeln heimgesucht waren).

5. **Einfluß des Parasitismus auf die Entwickelung der Parasiten.** 5a) Fruchtbarkeit. Die Fruchtbarkeit der Parasiten ist meist eine sehr große, vielfach sogar eine geradezu ungeheure. Daß die Embryonen, Larven oder sonstigen ansiedlungsfähigen Entwickelungsstadien einen geeigneten Wirt auffinden, ist meist so unsicher, daß nur eine sehr starke Vermehrung die Fortdauer der Art gewährleisten kann. Als Beispiel sei angeführt, daß man die Zahl der Eier, die eine einzige Taenia solium produziert, auf ca. 80 Millionen und die in einem Jahre von Ascaris lumbricoides gebildeten auf 64 Millionen berechnet hat und daß diese jähr-

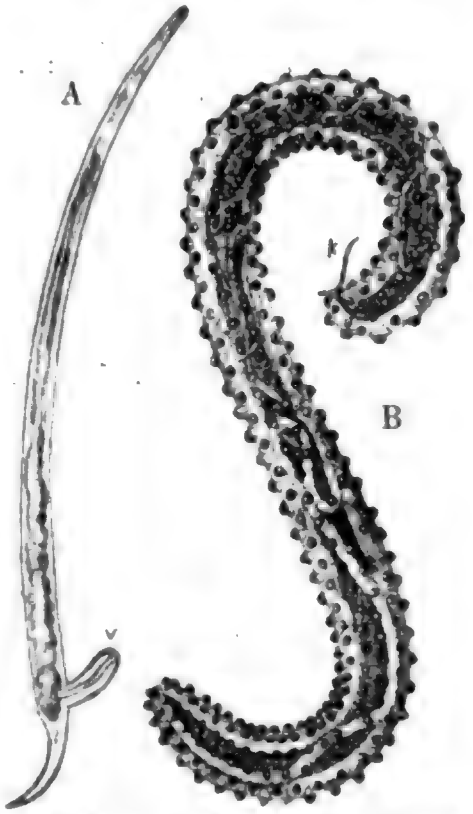


Fig. 14. Sphaerularia bombi. A Junges Weibchen, bei dem der Vorfall der Vagina (v) eben erst beginnt. Vergr. 80 : 1. B Endstadium der Entwickelung des Weibchens, bei der der ursprüngliche Körper (k) nur noch einen kleinen Anhang an der vorgefallenen Vagina darstellt. Vergr. 8 : 1. Nach Leuckart.

liche Eiproduktion des Spulwurms nach Looß das 1740fache des Körpergewichts beträgt. Bei gewissen Nematoden wächst der Eierstock so kolossal heran, daß er aus dem Körper heraus in die sich aus der Geschlechts-

Digitized by Google

öffnung vorstülpende Vagina übertritt und daß schließlich der ganze ursprüngliche Wurmkörper nur noch wie ein kleines Anhängsel an der mächtig entwickelten vorgefallenen Vagina erscheint, die bei Sphaerularia bombi an Volumen den ganzen Körper, aus dem sie herausgewachsen ist, um ungefähr das 20fache und mehr übertrifft (Fig. 14).

5b) Sicherung der geschlechtlichen Fortpflanzung. Diese ist bei den an den Körper ihrer Wirte gebannten Parasiten ebenfalls von Wichtigkeit, da durch die Festheftung und die Rückbildung der Bewegungsorgane das Aufsuchen eines Artgenossen wesentlich erschwert wird. Wir finden daher bei den Parasiten den Hermaphroditismus sehr weit verbreitet, finden andererseits aber auch nicht allzu selten ein gesetzmäßiges paarweises Zusammenleben. So ist dieses z. B. charakteristisch für die wenigen getrenntgeschlechtlichen Trematoden, von denen die Didymozoen der Fische paarweise in Cysten eingeschlossen leben, während bei dem im Blute des Menschen schmarotzenden Schistosomum die Seitenteile des Körpers des Männchens ventral eingerollt sind und so eine Hohlrinne bilden, in der das sehr viel schlankere drehrunde Weibchen festgehalten wird. Noch merkwürdiger ist die paarweise Vereinigung bei Diplozoon, da hier auf dem Larvenstadium eine dauernde Verwachsung zweier ursprünglich getrennter Individuen stattfindet, wobei die zwittrigen Geschlechtsorgane der beiden Einzeltiere derart miteinander in Verbindung treten, daß die beiden in Kreuzform vereinigten Tiere sich in dauernder wechselseitiger Begattung befinden. Bei Krustern finden wir sehr häufig, daß „Zwergmännchen" sich an den Weibchen in der Nähe von deren Geschlechtsöffnung festheften in ähnlicher Weise, wie das Weibchen an seinem Wirte festsitzt (Fig. 2, 3); hier führen also die Männchen ein wahres Schmarotzerleben an den Weibchen. Andererseits finden wir bei periodischen Parasiten mit frei lebenden Jugendstadien häufig, daß die Begattung beider Geschlechter am Ende der Periode des Freilebens erfolgt, daß dann das Männchen abstirbt und nur das Weibchen zum Parasitismus übergeht; unter schon früher genannten Formen ist dies z. B. beim Sandfloh und bei Sphaerularia der Fall. Umgekehrt geht bei den Strepsipteren (vgl. Fig. 1), deren Larven schmarotzen und deren Weibchen diese schmarotzende Lebensweise beibehält, das ausgebildete Männchen zum freien Leben über, um das Weibchen aufsuchen und begatten zu können.

5c) Wanderungen. Wanderungen sind für die Parasiten notwendig, um ihren Wirt bezw. das Organ desselben, in dem sie sich ansiedeln wollen, zu erreichen und später wieder zu verlassen. Nur bei Ektoparasiten können dieselben ganz oder fast ganz fortfallen. Läuse z. B. können viele Generationen hindurch auf dem gleichen Wirt ausharren, von dem nur gelegentlich ein oder das andere Exemplar auf einen anderen hinübergelangt. Und auch wo Ektoparasiten genötigt sind nach einem jugendlichen Freileben ihren Wirt erst aufzusuchen, wie z. B. die Flöhe, haben sie bei dessen Auffindung in der Regel keine sehr großen Schwierigkeiten zu überwinden. Für die Binnenschmarotzer liegen die Verhältnisse dagegen sehr viel schwieriger, am einfachsten noch dann, wenn die Eier von Darmparasiten oder die Dauerformen im Darm schmarotzender Protozoen mit dem Kote des Wirtes nach außen gelangen, im Freien längere Zeit lebensfähig bleiben, eventuell auch bis zu einem bestimmten Stadium sich weiter entwickeln und dann gelegentlich mit der Nahrungsaufnahme wieder in den Darm eines geeigneten Wirtes gelangen, in dem sie sich ansiedeln und bis zur Produktion der Eier bezw. Dauerformen, von denen wir ausgingen, weiter entwickeln (Beispiele: parasitische Amöben, Coccidien, Darmgregarinen, Ascaris lumbricoides, Oxyuris). Meist aber ist die Entwickelung eine wesentlich kompliziertere, sei es, daß in dem Körper eines Wirtes mehr oder weniger komplizierte Wanderungen gemacht werden oder daß die Wanderung des Parasiten gar durch mehrere Wirte hindurchführt. Als Beispiel für besonders komplizierte Wanderungen innerhalb des einzigen Wirtes seien Ancylostomum duodenale und Hypoderma bovis angeführt. Das erstere lebt im Darme des Menschen, mit dessen Kot die Eier nach außen gelangen. Im Freien entwickeln sich aus ihnen bewegliche Larven, die, sobald sie mit der Haut des Menschen in Berührung kommen, sich in diese einbohren. Im Unterhautbindegewebe wandern sie dann umher, bis sie in Blut- oder Lymphgefäße hineingelangen. Mit dem Blut- (oder eventuell vorher noch mit dem Lymph-)Strome kommen sie in die Lungen, in deren Kapillaren sie stecken bleiben, um die Blutbahn wieder zu verlassen und in den Hohlraum der Lungenalveolen auszuwandern. Von dort aus wandern sie die Luftwege aufwärts bis zum Kehlkopf und weiter durch den Schlund und Magen nach dem Darm, in dem sie sich ansiedeln und zur Geschlechtsreife heranwachsen. Der definitive Wohnsitz wird also hier erst auf einem großen Umwege erreicht, offenbar weil bei der Infektion durch die Haut die Aussicht für die Parasiten, in den zu ihrer Weiterentwickelung benötigten Wirt hineinzugelangen, wesentlich größer ist als sie es lediglich bei der oben erwähnten einfachen Infektion durch den Mund wäre.

Hypoderma bovis gehört zu den Oestri-

Digitized by Google

den, die nur im Larvenzustand schmarotzen, während die Imagines als Fliegen frei umherschwärmen. Das Weibchen der Oestriden legt seine Eier an die Haare oder auch in die Nähe der Nasenöffnung des Wirtes ab; jedenfalls finden die ausgeschlüpften jungen Larven der cavicolen Oestriden (z. B. Oestrus bei Cavicorniern, Cephenomyia bei Cerviden) alsbald den Weg in die Nase des Wirtes hinein und siedeln sich dann in deren Nebenhöhlen, im Schlunde oder im Kehlkopfe und der Trachea an, um dort heranzuwachsen und ihren Wirt erst wieder zu verlassen, wenn sie verpuppungsreif geworden sind. Schon etwas weiter geht die Wanderung bei den gastricolen Oestriden (Gastrophilus bei Pferden, Gyrostigma beim Nashorn, Cobboldia beim Elefanten), die bis in den Magen wandern, um sich erst in diesem, zum Teil auch erst im Darm anzusiedeln und nach Beendigung des Wachstums mit dem Kote nach außen entleert zu werden und sich in der Erde zu verpuppen. Am weitesten aber geht sie bei den cuticolen Oestriden, zu denen Hypoderma gehört. Dessen an die Haare des Rindes, vornehmlich an Weichen, Bauch, Keulen und Beinen abgelegte Eier gelangen durch Ablecken in den Verdauungskanal des Wirtes. Dort erst schlüpft die im Ei bereits voll entwickelte Larve aus, um sich zunächst im Endabschnitt der Speiseröhre und Anfangsteil der ersten Magenabteilung anzusiedeln, bald aber in das submucöse Gewebe des Schlundes einzudringen, in dem sie einige Monate lang umherwandert. Später durchbohrt sie auch die Muskelschicht des Schlundes, wandert im Bindegewebe, dem Mediastinum, den Zwerchfellpfeilern und Lendenmuskeln entlang, der Lendenwirbelsäule zu und dringt, den Rückenmarksnerven folgend, durch die Foramina intervertebralia der Lendenwirbelregion in den Wirbelkanal ein, in dem sie eine zweite Station macht, zwischen Rückenmark und Wirbeln ständig umherwandernd, um der Gefahr der Einkapselung infolge der entzündlichen Reaktion des Wirtsgewebes zu entgehen. Nach ungefähr 3 Monaten begibt sich die Larve abermals auf die Wanderschaft und gelangt durch die Foramina intervertebralia und das intramuskuläre Bindegewebe der Rückenmuskeln in das Unterhautbindegewebe, ihre dritte und letzte Station. Dort erfolgt nach Beendigung der Wanderungen eine Einkapselung der Larve durch entzündliche Bindegewebswucherung, die Bildung der „Dasselbeule“. Dem Sauerstoffbedürfnis der Larve wird dadurch Genüge getan, daß die Dasselbeule infolge bohrender Bewegungen der Parasiten nach außen durchbricht, und die so entstandene Oeffnung liefert der Larve auch die Möglichkeit, sobald sie ausgewachsen ist, die Dasselbeule mittels energischer Kontraktionen zu verlassen; sie fällt dann zu Boden, um sich in der Erde zu verpuppen.

5d) Wirtswechsel. In ganz anderer Art werden die Wanderungen kompliziert durch den Wirtswechsel, der bei Endoparasiten außerordentlich weit verbreitet ist. Er ist dadurch charakterisiert, daß ein und derselbe Parasit nach einander in mehreren Wirten schmarotzt, die sich in gesetzmäßiger Weise ablösen, derart, daß in dem einen, dem definitiven Wirt, die geschlechtliche Fortpflanzung, in dem anderen, dem Zwischenwirt, dagegen überhaupt keine oder doch nur eine ungeschlechtliche Fortpflanzung der Parasiten erfolgt. So beherbergen z. B. die Riesenschlangen in ihren Lungen häufig Pentastomen, deren nach außen gelangte Eier sich nur weiterentwickeln, wenn sie von verschiedenen Säugetieren mit der Nahrung aufgenommen werden. In diesen wandern sie vom Darm aus nach der Leber und anderen Organen, gelangen aber über das Larvenstadium nicht hinaus. Geschlechtsreif werden sie erst, wenn sie mit ihrem Träger von einer geeigneten Schlange aufgenommen werden. Aus den Eiern der im menschlichen Darme schmarotzenden Taenia solium schlüpfen die Embryonen aus, wenn sie in den Darm eines Schweines geraten, von dem aus sie auf der Blutbahn nach der Muskulatur wandern, um sich dort zur Finne (Fig. 15a) zu entwickeln, die nur nach Ueberführung in den Darm des Menschen wieder zum Bandwurm heranwächst. Besondere Wichtigkeit hat der Wirtswechsel bei Parasiten, die im Blute der Wirbeltiere schmarotzen, die Blutbahn spontan nicht verlassen können und durch blutsaugende Tiere übertragen werden. Filaria bancrofti z. B. schmarotzt im geschlechtsreifen Zustande in den Lymphdrüsen des Menschen, von denen aus die Larven in die Blutbahn gelangen. In dieser vermögen sie sich aber direkt nicht weiter zu entwickeln; Weiterentwickelung erfolgt erst, wenn sie mit dem als Nahrung aufgesogenen Blute in den Körper einer Stechmücke gelangen. In diesem geht die Entwickelung wieder nur bis zu einem bestimmten weiteren Stadium. Ist dieses erreicht und sticht dann die Mücke wieder einen Menschen, so verläßt die etwas herangewachsene Larve ihren Zwischenwirt wieder und tritt in die Blutbahn des Menschen über, in dem sie allmählich zur Geschlechtsreife heranreift. In einzelnen Fällen kann der Wirtswechsel eine Vereinfachung dadurch erfahren, daß der definitive Wirt der einen und der Zwischenwirt der folgenden Generation identisch sind, wie bei der Trichine. Diese ist lebendig gebärend und die neu-

Digitized by Google

geborenen Jungen wandern direkt von ihrer Geburtsstätte auf der Blutbahn nach der Muskulatur, in der sie sich einkapseln. Ihre Weiterentwickelung zum geschlechtsreifen Tier erfolgt nur, wenn sie nach dieser Einkapselung in den Darm eines anderen geeigneten Wirtes gelangen.

5e) Generationswechsel. Häufig ist der Wirtswechsel aber auch verbunden mit einem Generationswechsel. In diesem Falle findet in dem Zwischenwirt eine ungeschlechtliche Vermehrung statt, durch welche die Aussichten für die Erhaltung der Art trotz der Kompliziertheit der parasitären Lebensbedingungen wesentlich verbessert werden. Ein einfaches Beispiel mag dies erläutern. Die Entwickelung der Taenia coenurus entspricht zwar im Prinzip durchaus der bereits besprochenen der Taenia solium (definitiver, den Bandwurm beherbergender Wirt ist hier der Hund; Zwischenwirt ist das Schaf, in dessen Hirn die Coenurus oder Drehwurm genannte ungeschlechtliche Form schmarotzt); während aber die Schweinefinne eine sich im Zwischenwirt nicht vermehrende Larve ist, entwickeln sich beim Coenurus an der Innenwand einer großen flüssigkeitserfüllten Blase zahlreiche Scoleces (Fig. 15 und 16), deren jeder bei Ueberführung in den Darm eines Hundes zu einem geschlechtsreifen Bandwurm heranwächst. Häufig bietet die Entwickelung mit Generationswechsel noch verwickeltere Verhältnisse dar, so namentlich bei den Distomen, deren definitive Wirte Wirbeltiere und deren Zwischenwirte Gastropoden oder Lamellibranchier sind. Hier können mehrere verschiedene ungeschlechtliche (bezw. nach neuerer Auffassung parthenogenetische) Generationen in dem Zwischenwirt aufeinander folgen (dies ist z. B. der Fall bei Fasciola hepatica). Andererseits ist sehr häufig bei den Distomen zwischen den Zwischenwirt und den definitiven Wirt noch ein dritter Wirt (Hilfswirt) eingeschaltet, in dem eine Weiterentwickelung und Vermehrung nicht stattfindet. Als typisches Beispiel für diese Entwickelung sei Opisthioglyphe rastellus angeführt, das geschlechtsreif im Darm des Frosches lebt. Aus den ins Wasser gelangten Eiern entwickelt sich in Lymnaea ovata eine einfach sackförmige Sporocyste, in deren Innerem die als Cercarien bezeichneten, mit einem Ruderschwanz versehenen Larven der Geschlechtsgeneration erzeugt werden. Diese schwärmen aus, schwimmen mit Hilfe ihres Schwanzes einige Zeit umher und bohren sich, sobald sie eine Phryganidenlarve (namentlich Limnophilusarten) finden, mit Hilfe eines Bohrstachels

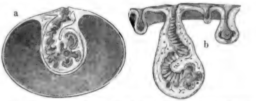


Fig. 15. a Schematischer Durchschnitt durch die Schweinefinne; im Inneren der Blase ein einziger eingestülpter Scolex, der im Darm des Menschen nach Resorption der Blase zum Bandwurm auswächst. Nach Leuckart. b Schematischer Durchschnitt durch einen Teil der Blasenwandung eines Coenurus mit mehreren, durch einen ungeschlechtlichen Vermehrungsvorgang (Knospung) entstandenen, verschieden alten Scoleces. Nach Braun.

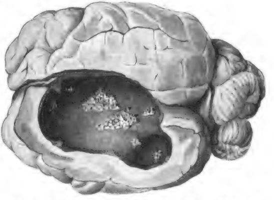


Fig. 16. Gehirn eines drehkranken Schafes. An der Innenfläche der eröffneten Blase des Coenurus sieht man zahlreiche, gruppenweise angeordnete Scoleces. Natürliche Größe. Original.

Digitized by Google

in diese ein, um sich in ihr unter Verlust des Ruderschwanzes zu encystieren und dann zu harren, bis der Hilfswirt von einem Frosche verschlungen wird, in dessen Darm sie zum geschlechtsreifen Distomum heranwachsen. Anderen Cercarien fehlt ein Bohrstachel, z. B. derjenigen von Gorgodera cygnoides (geschlechtsreif in der Harnblase des Frosches, ungeschlechtliche Generation in den Kiemen von Sphaerium draparnaldii), die mit Hilfe eines den Körper an Umfang um ein Vielfaches übertreffenden Schwanzes nach Art von Culexlarven umherschwimmt als willkommene Beute von Raubinsekten und sich dann in der Speiseröhrenwandung von Epithecalarven (Libellen) encystiert. Im Anschluß hieran sei noch hervorgehoben, daß ein nur als Larve im Wasser lebendes Insekt als Hilfswirt auch die Invasion der Distomen in insektenfressende definitive Wirte, die nie ins Wasser gehen (z. B. Fledermäuse) vermitteln kann.

Im übrigen aber sei hinsichtlich der nur für wenige Arten vollständig bekannten Entwickelung der Distomen auf den Artikel „Plathelminthes“ verwiesen.

5f) Heterogonie. Heterogonie d. h. ein regelmäßiger Wechsel zweier verschiedener geschlechtlicher Generationen findet sich bei einigen Nematoden (Strongyloides, Rhabdonema) und zwar ohne Verbindung mit einem Wirtswechsel. Vielmehr lebt die getrenntgeschlechtliche Generation frei (in feuchter Erde) und auch die aus den befruchteten Eiern hervorgehenden Larven entwickeln sich noch im Freien, gehen aber dann zur parasitischen Lebensweise über. Diejenigen von Rhabdonema entwickeln sich in der Lunge von Fröschen und Kröten zu Hermaphroditen, diejenigen von Strongyloides intestinalis wandern auf dem gleichen Wege, der oben bereits für Ancylostomum geschildert wurde, durch die Haut hindurch in den Darm des Menschen und entwickeln sich dort zu geschlechtsreifen Tieren, die Leuckart ebenfalls als Hermaphroditen auffaßte, die aber von anderen für parthenogenetisch sich vermehrende Weibchen gehalten werden. Die Eier der parasitischen Generation bezw. die bereits im Darm des Wirtes ausgeschlüpften Larven werden nach außen entleert und entwickeln sich im Freien wieder zur getrenntgeschlechtlichen Generation.

6. Der Einfluß der Parasiten auf ihren Wirt. Er ist sehr verschieden, häufig so gering, daß die Anwesenheit des Parasiten für den Wirt von keiner praktischen Bedeutung ist, nicht allzuselten aber auch so erheblich, daß schwere Gesundheitsstörungen, unter Umständen der Tod des Wirtes die Folge sind, und zwischen diesen beiden Extremen kommen alle Uebergänge vor. Der Grad der Schädigung des Wirtes hängt außer von der Zahl der Parasiten ab von ihrem Sitz, ihrer Ernährungsweise und ihrem Stoffwechsel. Bei Ansiedelung im Gehirn kann gelegentlich schon eine einzelne Bandwurmfinne zum Tode führen, in der Muskulatur kann dieselbe Finne sich in großer Zahl ansiedeln, ohne merkliche Störungen zu verursachen. Parasiten, die, wie z. B. der Spulwurm, ihre Nahrung dem im Darme des Wirtes enthaltenen Speisebrei entnehmen, werden auch in größerer Anzahl lange nicht so schädlich wirken, wie andere Darmparasiten, die, wie Ancylostomum, sich an der Darmwandung ansaugen, um die Darmepithelien einzuschlürfen, und die dadurch nicht nur zu Blutverlusten führen, sondern auch das Resorptionsvermögen des Darmes herabsetzen und infolgedessen zu schweren Anämien führen. Schädigend wirken in vielen Fällen aber auch Stoffwechselprodukte des Parasiten, die, wie bereits oben erwähnt, direkt toxisch erscheinen können; schon bei der Anämie infolge von Ancylostomuminvasion wirken solche anscheinend mit und die von Bothriocephalen verursachte Anämie ist nur durch Toxinwirkung erklärbar, da hier Verletzungen der Darmwand nicht erfolgen und die Nahrung des Bandwurms nur dem Speisebrei entnommen wird. Nur durch die Einwirkung von Stoffwechselprodukten auf den Wirt ist es auch erklärlich, daß bei Gegenwart von Darmparasiten die Zusammensetzung des Blutes eine Aenderung erfährt (Vermehrung der eosinophilen Zellen).

Von Wichtigkeit für die Beziehungen zwischen Parasit und Wirt sind auch die entzündlichen Reaktionen der angegriffenen Gewebe, z. B. die lebhafte Entzündung der Muskulatur bei der Einwanderung von Trichinen, die Entzündung der Gallengänge bei der Distomeninvasion, die entzündlichen Dickdarmgeschwüre bei Amöben-, und Balantidiendysenterie. Diese entzündliche Reaktion ist als eine Schutzwehr des Wirtes aufzufassen, was besonders dann deutlich hervortritt, wenn sie zu einer Einkapselung des Parasiten führt (Beispiele: Muskeltrichine, die oben besprochene Dasselbeule des von Hypoderma befallenen Rindes), der dadurch für seinen Träger unschädlich gemacht wird. Bei chronischer Entzündung können freilich auch sehr ansehnliche Wucherungen des beteiligten Gewebes entstehen (z. B. die starken papillären Wucherungen der Gallengänge des Kaninchens bei Coccidieninvasion oder die zuweilen sehr umfangreichen Wucherungen der Blasen- und Dickdarmschleimhaut des von Schistosomum befallenen Menschen).

Literatur. **R. Blanchard**, *Zoologie médicale. Paris 1889 bis 1890.* — **M. Braun**, *Die tierischen Parasiten des Menschen. 4. Aufl. Würzburg 1908.* — **M. Braun und M. Lühe**, *Leitfaden*

Digitized by Google

zur Untersuchung der tierischen Parasiten des Menschen und der Haustiere. Würzburg 1909. — **C. Davaine**, *Traité des Entozoaires. Paris 1877.* — **L. v. Graff**, *Das Schmarotzertum im Tierreich. Leipzig 1907.* — **K. Kraepelin**, *Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Leipzig 1905.* — **R. Leuckart**, *Die menschlichen Parasiten und die von ihnen herrührenden Krankheiten. Leipzig und Heidelberg 1863 bis 1876; 2. Aufl., Bd. 1, 1879 bis 1901.* — **A. Looss**, *Schmarotzertum in der Tierwelt. Leipzig 1892.* — **C. Mense**, *Handbuch der Tropenkrankheiten. Leipzig 1905 bis 1906.* — **M. Neveu-Lemaire**, *Parasitologie des animaux domestiques. Paris 1912.* — **A. Railliet**, *Traité de Zoologie médicale et agricole. Paris 1895.*

M. Lühe.

Parthenogenesis

siehe die Artikel „Fortpflanzung der Pflanzen" und „Fortpflanzung der Tiere".

Pascal
Blaise.

Geboren am 19. Juni 1623 in Clermont-Ferrand in der Auvergne, gestorben am 19. August 1662 in Paris. Im Jahre 1631 kam Pascal mit seinem Vater nach Paris und machte im Elternhaus die Bekanntschaft der bedeutendsten Mathematiker und Physiker, Roberval, Mersenne und anderer, wodurch sein Interesse an der Geometrie wachgerufen wurde. Durch seinen Vater von dieser Wissenschaft ferngehalten, konstruierte der Knabe sich seine eigene Geometrie. Schon mit 16 Jahren schrieb er ein Buch über Kegelschnitte und begann 1647 seine physikalischen Arbeiten, die er indessen nach wenigen Jahren ganz abbrach, um sich — wohl infolge einer glücklich abgewendeten Todesgefahr — für den Rest seines Lebens ganz religiösen Dingen zu widmen. Durch die Toricellischen Versuche angeregt machte er Beobachtungen über das Schwanken der Quecksilbersäule im Barometer. Auf seine Veranlassung bestieg am 19. September 1648 sein Schwager Périer den Puy-de-Dôme, um die erste barometrische Höhenmessung zu machen. Dieser Versuch bestätigte die Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe und machte der alten Theorie vom Horror vacui den Garaus. In der Folge unternahm Pascal Untersuchungen über Probleme der Hydrostatik; sein Name lebt mit den grundlegenden Sätzen dieses Gebietes fort. Weit bekannt sind seine Schriften gegen die Jesuiten, die verbreitetste derselben hat 60 Auflagen erlebt.

Literatur. **Maynard**, *P. La vie et son caractère. Paris 1850.* — **Nourrisson**, *P. Physicien et philosophe. Paris 1885.* — **J. Bertrand**, *Blaise P. Paris 1890.* — **Rosenberger**, *Gesch. der Physik II, S. 127—130.*

E. Drude.

Passivität

siehe den Artikel „Elektrochemie".

Pasteur
Louis.

Geboren am 27. Dezember 1822 zu Dôle, gestorben am 28. September 1895 in Paris, ist der hervorragendste französische Biologe, der durch Verwertung chemischer Beobachtungen die größten Erfolge errungen hat. Auch der physikalischen Chemie sind von Pasteur wichtigste Ergebnisse zugeführt worden. Durch seine Forschungen über die optisch aktiven Weinsäuren legte er den Grund zur Lehre von dem asymmetrischen Kohlenstoff. Seine wichtigsten Untersuchungen galten den Gärungsvorgängen, die er als physiologische Prozesse, also abhängig von der Lebenstätigkeit kleinster Organismen, erkannte. Aus dieser Erkenntnis entsprang die weitere, daß viele Krankheiten auf solche Mikroorganismen zurückzuführen seien. Sein Scharfsinn ließ ihn Mittel und Wege zu ihrer Bekämpfung in der Schutzimpfung finden. Die von ihm erzielten Erfolge bei der Hundswut, dem Milzbrand, dem Rotlauf der Schweine u. a. sind allgemein bekannt. Auch die Bekämpfung von bei technischen Gärungsbetrieben vorkommenden Krankheiten durch Sterilisierung gelang ihm in vorzüglicher Weise. So ist Pasteur, dank seinen Leistungen, zu einem Wohltäter der Menschheit geworden.

Literatur. *Nachruf von* **E. Fischer**, *Ber. 28, 2336.*

E. von Meyer.

Pathologie.[1]

1. Definition. Geschichtliche Entwickelung des Krankheitsbegriffes. 2. Die krankmachenden Schädlichkeiten. 3. Die Angriffstellen am Körper. Die Zellularpathologie Virchows. Omnis cellula a cellula. Virchows Definition des Wesens der Krankheit. 4. Die dagegen zu erhebenden Einwände. Der „Sitz" der Krankheit. Das Irrtümliche dieser Bezeichnung. 5. Virchows Unterscheidung der funktionellen, nutritiven und formativen Reizung. 6. Die dagegen zu erhebenden Bedenken. 7. Die Grundlagen der Krankheiten sind allein die regressiven Veränderungen der Gewebe: a) Nekrose, b) Degeneration, c) Atrophie, d) Rückbildung, e) Hypoplasie. 8. Folgen der Veränderungen eines Organes für den übrigen Körper. Korrelation der Organe. 9. Chemische Veränderungen im Körper: a) Amyloide Entartung, b) Hyalin, c) Gicht. 10. Die einzelnen Krankheiten beruhen alle auf einer Abnahme der Funktion bald dieser bald jener Organe. 11. Uebersicht über die Krankheiten. Die Bedeutung der progressiven Vorgänge im Krankheitsbilde: a) Die Regeneration, b) Die Hypertrophie, c) Die Entzündung, d) Die Geschwulstbildung.

1. Definition. Geschichtliche Entwickelung des Krankheitsbegriffes. Pathologie ist die Lehre von den Krankheiten.

[1]) In diesem Artikel ist die tierische Pathologie behandelt; für die pflanzliche siehe den Artikel „Pflanzenkrankheiten".

Und zwar gebrauchen wir diese Bezeichnung weil der Mensch durch die Krankheiten einem Leiden (παθος) verfällt. Krankheitslehre hieße wörtlich genommen Nosologie (νοσος die Krankheit). Aber wir haben uns an den Ausdruck Pathologie gewöhnt. Was ist nun Krankheit? Krankheit heißt die Summe der in einem Körper ablaufenden abnormen Lebensprozesse. Wie aber die normalen vitalen Vorgänge abhängig sind von einem normalen Bau der Organe, so die pathologischen von einer veränderten Struktur der Gewebe. Die Krankheiten entstehen also erst im Anschluß an primäre anatomische Veränderungen bald an diesem, bald an jenem, bald nur an einem Körperteil, bald an mehreren zugleich.

Ueber diese den Krankheiten zugrunde liegenden Störungen in der Zusammensetzung des Organismus hat man sich seit jeher verschiedene Vorstellungen gemacht. Die älteste, mindestens bis auf Hippokrates (400 v. Chr.) zurückreichende nahm an, daß die Krankheiten bedingt seien durch Mischungsveränderungen in den Säften des Körpers, also nach unseren heutigen Begriffen mehr durch chemische als durch gewebliche Abweichungen. Man hatte dabei das Blut, den Schleim, die gelbe und die mystische, nicht beobachtete, sondern nur erschlossene schwarze Galle, die von der Milz zur Leber fließen sollte, im Auge. Die Störung in der Mischung, Krasis, dieser Säfte wurde als Dyskrasie bezeichnet. Die ganze Richtung bekam, weil sie von den Säften, den Humores ausging, die Bezeichnung Humoralpathologie. Sie blieb im Altertum vorherrschend und behauptete sich, nachdem Galen, der römische Arzt im zweiten Jahrhundert, sich ihr angeschlossen hatte, auf seine Autorität hin noch durch das ganze Mittelalter, wenn auch in etwas modifizierter Form. Sie hatte auf die Therapie weitgehenden Einfluß. Man suchte die falsche Mischung besonders durch Abführmittel zu beseitigen. Erst als Paracelsus in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts (gestorben 1541) ihr entgegentrat, verlor sie in der alten Form an Ansehen. Dafür traten dann aber zunächst Vorstellungen ein, die sich auf die allmählich sich entwickelnde Chemie stützten und in chemischen Abweichungen vor allem auch wieder der Säfte die Grundlagen der Krankheiten sehen wollten. Unter den Flüssigkeiten des Körpers fand aber mehr und mehr das Blut Beachtung. In ihm waren es weniger die körperlichen Bestandteile, als vielmehr die flüssigen, die man ins Auge faßte und in ihnen wieder besonders die gelösten und gerinnungsfähigen Eiweißkörper. Mit ihnen beschäftigten sich ziemlich gleichzeitig in Frankreich Andral, in Deutschland Rokitansky. Im Blute kann zu viel oder zu wenig Fibrin oder es kann in falscher Zusammensetzung vorhanden sein. Ebenso kann sich das neben dem Fibrin bedeutsame Albumin verhalten. Ausscheidungen der Bluteiweißsubstanzen in die einzelnen Organe führen zu deren Erkrankungen, zu Entzündungen, Geschwulstbildungen usw. Von den primär gedachten Veränderungen des Blutes hingen also die Krankheiten ab. Diese Anschauungen wurden in Deutschland durch Virchows Kritik erschüttert und beseitigt.

Neben der Humoralpathologie ging schon im Alterutum einher die Solidarpathologie, die auf dem Verhalten der festen Teile fußte und auf Asklepiades im letzten vorchristlichen Jahrhundert zurückging. Hier handelte es sich um die größere oder geringere Dichtigkeit der Gewebe, um ihren „Tonus" oder ihre Erschlaffung, den Status strictus oder laxus und um die größere Engigkeit oder Erweiterung der Poren, so daß die Säfte entweder nicht genügend hindurchkonnten oder in ihrem Laufe zu sehr verlangsamt wurden. Diese Vorstellungen hatten nicht die werbende Kraft wie die der Humoralpathologie, sie verschwanden aber auch bis in die neuere Zeit niemals ganz, traten hier und da wieder stärker hervor und gingen mehr oder weniger auch in die anderen Systeme, z. B. das des Galen, über.

Wie nun die Humoralpathologie sich schließlich auf einen Saft, auf das Blut beschränkte, so nahm die Solidarpathologie in der Neuzeit besonders Rücksicht auf das feste Gewebe des Nervensystems, das nicht nur für sich selbständig erkranken, sondern auch alle anderen Organe schädigen kann, so daß am Ende die meisten Krankheiten, die nach unseren jetzigen Kenntnissen mit primären Affektionen des Nervensystems nichts zu tun haben, von ihm abhängig sein sollten. Das war die Neuropathologie.

2. Die krankmachenden Schädlichkeiten. Alle diese Lehren suchten die Krankheiten und das war das ja durchaus richtige an ihnen — aus Veränderungen der Teile unseres Körpers abzuleiten. Andere aber, die auch weit zurückgehen, glaubten die Krankheiten als mehr oder weniger selbständige Wesen ansehen zu sollen, die von außen in den Körper eindrangen, in ihm lebten und ihn dann freilich auch veränderten. Das galt zunächst vor allem für die Geisteskrankheiten. Diese Vorstellungen treffen wir zumeist bei den Neuplatonikern, die lehrten, daß Dämone, Zwischenstufen zwischen Engeln und

Digitized by Google

Menschen, in letztere hineinfahren und in ihnen Krankheiten hervorrufen können. Diese Anschauungen haben sich in dem Wahne vom „Besessensein“ bis in die neuere Zeit erhalten. In modifizierter Form finden wir sie bei dem schon genannten Paracelsus. Er nahm an, daß gesonderte Wesen existierten, die er Entia (Ens) nannte, die meist von außen in den Körper hineinkämen und ihn krank machten. Er nannte das Ens ein „Ding, das Gewalt hat, den Leib zu regieren“. Solche Entia können aus verschiedenen Quellen stammen. Paracelsus unterschied ein Ens astrorum, das dem Weltall entstammte, ein Ens veneni, das in der Nahrung enthalten sei, ein Ens naturale, das begründet sei in der Empfänglichkeit des Körpers für schädliche Einflüsse, ein Ens spirituale, das mit der Seele in engem Zusammenhang stehe und ein Ens deale, die von Gott stammende Fügung. Gehen wir diesen Anschauungen auf den Grund, so haben wir es bei ihnen mit einem Versuch zu tun, eine Aetiologie der Krankheiten zu begründen, die in Betracht kommenden Schädlichkeiten in Kategorien einzuteilen. Die Unvollkommenheit dieser Vorstellungen entsprach dem damaligen wissenschaftlichen Standpunkt. Paracelsus konnte sich noch nicht klar machen, daß die von ihm angenommenen krankmachenden Faktoren Veränderungen im Körper hervorriefen und daß erst von diesen die Krankheitserscheinungen abhingen. Er sah in den Entia in der Hauptsache noch die Krankheiten selbst, die in dem Körper lebten. Aber immerhin kann man ihn als den Vorläufer der heutigen Aetiologie ansehen, wie sie vor allem in der Lehre von den Infektionskrankheiten, also von den lebenden Krankheitserregern, zum Ausdruck kommt. Das aus dem Weltall stammende Ens des Paracelsus kann man parallelisieren mit dem Miasma, unter dem man sich lange Zeit in der Luft enthaltene schädliche Stoffe vorstellte, das Ens veneni mit der Intoxikation und teilweise auch mit der Infektion, soweit sie durch die Nahrung erfolgt, das Ens naturale mit unseren Anschauungen über die Disposition. Aber es gibt noch eine engere Beziehung zwischen heute und damals. Als die lebenden Krankheitserreger, die Bakterien, zuerst bekannt wurden, da überschätzte man vielfach ihre Bedeutung insofern, als man glaubte, es sei alles zur Erkenntnis der Krankheiten Nötige erreicht, wenn man den Erreger kenne. Man neigte dazu, als das Wesen der Krankheiten die jedesmal in Betracht kommenden Mikroorganismen anzusehen und den Körper eine mehr nebensächliche Rolle spielen zu lassen. Man verfuhr also ähnlich wie Paracelsus, indem man lebende Krankheitswesen schuf. Diese Periode ist nun auch vorüber und heute wissen wir, daß die Bakterien nichts anderes sind als Schädlichkeiten, die im Körper sich vermehrend und Gifte bildend, die Organe angreifen und verändern. Sie sind nicht selbst die Krankheiten, sie rufen diese auch nicht direkt hervor, sondern sie machen nur die Läsionen der Gewebe, von denen die Krankheiten abhängen. Sie sind nun zwar weitaus die wichtigsten, aber doch durchaus nicht die einzigen Schädlichkeiten, die so wirken. Neben ihnen kommen noch viele andere in Betracht. So die Aenderungen der Nahrung, deren falsche Zusammensetzung und ungenügende Menge, das Fehlen dieser oder jener Bestandteile, die abnormen Beimengungen zur Atemluft, die mannigfaltigen Gifte, die teils therapeutisch angewendet werden und in größeren Mengen schädlich sind, teils als Genußmittel dienen und ebenfalls im Uebermaß Nachteile bringen, teils aus Versehen, zu Selbstmordzwecken usw. genommen werden, die Aenderungen der Temperatur, also die zu hohe Wärme und die zu tiefe Kälte, die Elektrizität, die vielseitigen Verletzungen usw. Alle diese ätiologisch wirksamen Faktoren stimmen darin überein, daß sie bald an diesem, bald an jenem Körperteil Abnormitäten hervorrufen und daß damit dessen normale Funktion ausgeschlossen ist. Daraus ergeben sich dann die Krankheitserscheinungen. Aber es ist sehr oft nicht nur ein Organ verändert, es können zwei und mehrere beteiligt sein und damit wächst die Zahl der abnormen Vorgänge. Demgemäß müssen wir, wie es eingangs geschah, die Krankheit definieren als die Summe der in einem Körper ablaufenden abnormen Lebensprozesse.

3. Die Angriffsstellen am Körper. Die Zellularpathologie Virchows. Omnis cellula a cellula. Virchows Definition des Wesens der Krankheit. Die verschiedenen Schädlichkeiten können nun bald an diesem, bald an jenem Teile angreifen. Meist kann man die veränderten Teile schon mit bloßem Auge und oft schon am Lebenden erkennen, wenn es sich um die äußere Körperoberfläche und die direkt zugängigen Schleimhäute handelt. Die überwiegende Zahl der Krankheiten ist aber durch Veränderungen der inneren Organe bedingt, die erst bei der Sektion oder bei Operationen besichtigt werden können. Daher wußten die Aerzte des Altertums und des Mittelalters, die noch keine Obduktionen ausführten, nur äußerst wenig von der abnormen Beschaffenheit der Organe. Erst in der neueren Zeit häuften sich die Kenntnisse mehr und mehr, aber sie blieben doch zunächst auf das be-

Digitized by Google

schränkt, was man mit bloßem Auge wahrnehmen konnte. Und so handelte es sich zunächst nur um eine Organpathologie. Das wurde aber mit der Entdeckung der Zelle und ihrer Bedeutung anders. Nachdem durch Schleiden und Schwann die sicheren Fundamente der Zellenlehre gewonnen worden waren, konnte ihre Uebertragung auf die Pathologie nicht mehr lange auf sich warten lassen. Aber es bedurfte natürlich eines Mannes, der mit klarem Blick diesen Schritt tat, und dieser Mann war Rudolf Virchow. Etwa 20 Jahre nach der Begründung der Zellenlehre ließ er seine Zellularpathologie erscheinen, nachdem er ihr seit mehr als einem Jahrzehnt in zahlreichen Untersuchungen vorgearbeitet hatte. Die Zellen wurden nun zu den Angriffspunkten der Schädlichkeiten. Sie erleiden mancherlei Veränderungen, von denen wir nachher noch reden werden.

Zunächst stand noch ein anderer Gesichtspunkt im Vordergrund. Unter pathologischen Verhältnissen sehen wir sehr oft außerordentlich große Mengen von Zellen auftreten, die sonst nicht da sind. Denken wir z. B. daran, daß Eiter, der unter Umständen literweise gebildet wird, nur aus Zellen besteht und daß das gleiche mit den Geschwülsten der Fall ist, die in kolossaler Größe und Zahl auftreten können. Woher kommen alle diese Zellen? Die Begründer der Zellenlehre, ihnen vorausgehende und zunächst auch noch nachfolgende Beobachter nahmen an, daß alle Zellen aus einem Blastem, einem Substrat hervorgingen, das die einzelnen Bestandteile der Zellen enthielte und aus dem sie gleichsam herauskristallisierten. Zuerst sollte der Kern, dann um ihn das Protoplasma sich bilden. Und nach diesen Vorstellungen wurde angenommen, daß auch jene ungeheuren Mengen von Zellen, die unter krankhaften Bedingungen sichtbar werden, aus Blastemen hervorgingen. So dachte auch noch Rokitansky, den wir oben als Vertreter der Hämatopathologie nannten, daß am Orte der Entzündung, der Geschwulstbildung usw. eine Ausscheidung von Fibrin aus den Blutgefäßen stattfinde und daß aus den in die Gewebe ergossenen Massen die Zellen entstünden. Diese Anschauungen hingen natürlich mit den oben erwähnten über die primären Abnormitäten des Blutes zusammen, die Virchow in einer kritischen Untersuchung entscheidend zurückwies, aber nicht ohne die außerordentlichen Verdienste Rokitanskys um die pathologische Anatomie voll und ganz anzuerkennen. Er zeigte, daß eben jene Blutveränderungen nicht bewiesen, sondern nur angenommen bezw. aus ungenügenden Beobachtungen erschlossen waren, daß sie in Wirklichkeit nicht existierten. Jene Ansichten aber über die Entstehung der Zellen aus Blastemen und Ausschwitzungen erledigten sich, als Virchow durch seine vieljährigen Untersuchungen, die ihn selbst erst allmählich von der anfangs auch von ihm gebilligten Blastemlehre fortführten, zeigte, daß jede neue Zelle immer eine andere zur Voraussetzung hat, daß sie stets nur durch deren Teilung gebildet wird. Jede Zelle stammt von einer früheren ab: „Omnis cellula a cellula“. Veränderungen an Zellen und ihre Neubildungen kennzeichnen also die Pathologie. Damit war die Zelle in den Mittelpunkt der Krankheitslehre gerückt und so sprach Virchow von Zellularpathologie. Aber in diesem Begriff war doch noch weit mehr enthalten, als bisher angeführt wurde. Denn Virchow geriet nun in Gedankengänge, die an Paracelsus erinnerten. Die veränderte Zelle hatte für ihn eine solche Bedeutung gewonnen, daß er in ihr das eigentliche „Wesen“ der Krankheit erblicken zu sollen glaubte. Er sprach es direkt aus: Das viel gesuchte Wesen der Krankheit ist die veränderte Zelle. Aehnlich also wie Paracelsus von einem Ens sprach, so tat es auch Virchow. Nur ließ er es nicht, wie jener es tat, von außen in den Körper hineinkommen, sondern er personifizierte die veränderte Zelle und setzte sie dem übrigen Organismus als etwas relativ Selbständiges gegenüber. Aber diese Vorstellung ist, so habe ich an anderer Stelle (Das Wesen der Krankheit, Bonn 1909) ausgeführt, nicht haltbar. Krankheit ist ein Vorgang, oder vielmehr, eine Summe von Vorgängen, aber kein anatomischer Zustand. Sie ist die Summe der von der veränderten Zelle abhängigen abnormen, modifizierten Lebensvorgänge, die in dem erkrankten Körper ablaufen. Das ist ihr „Wesen“, wenn wir diesen Ausdruck gebrauchen wollen, aber sie ist als solches nichts Selbständiges, sondern nur Leben in einer von der Norm abweichenden Form. Wir stellen ja auch nicht das normale Leben dem normalen Körper selbständig gegenüber. Aber wir sagen auch nicht: das Wesen des normalen Lebens, die Gesundheit, ist die normale Zelle. Denn diese bringt die Lebenserscheinungen erst hervor. Und ebenso sind die krankhaften Lebensvorgänge, also die Krankheit, abhängig von der veränderten Zelle.

4. Einwände gegen Virchows Definition. Der „Sitz“ der Krankheit. Das Irrtümliche dieser Bezeichnung. Krankheit gibt es außerdem nur in Beziehung auf das Individuum. Nur dieses kann krank sein, nicht ein einzelner Teil in ihm. Oder wenn man sagen wollte, daß doch auch die Zelle ein Individuum sei, und

deshalb auch krank werden könne, so wird man das in diesem allgemeinen Sinne zugeben können, aber dann ist doch die Krankheit des ganzen Individuums nicht identisch mit der Krankheit der einzelnen Zelle.

Es ist aber außerdem verwirrend, wenn man die Bezeichnung Krankheit auf die einzelnen Körperteile übertragen und z. B. von einer kranken Lunge reden will. Krank ist im Sinne des Sprachgebrauches immer nur der ganze Mensch, wenn in ihm irgendwelche abnormen Lebensvorgänge subjektiv als solche empfunden werden oder objektiv nachweisbar sind. Ein verändertes Organ ist nicht krank. Und wenn nun jemand sagte, er seinerseits wolle aber auch die Körperteile und die Zellen krank nennen, so wäre das im Sinne einer Verständigung zu beklagen. Ja, wenn man damit auf der anderen Seite etwas gewänne. Aber das ist nicht der Fall. Wenn wir von einem veränderten Organ reden, so ist das ebenso verständlich und es führt nicht zu Unklarheiten.

Wenn wir also von der Krankheit nur reden mit Bezug auf den ganzen Organismus, nicht mit Bezug auf die einzelnen Teile und Zellen, wenn wir diese vielmehr lediglich verantwortlich machen für die Entstehung der Krankheit, dann müssen wir sagen: Das Wesen der Krankheit ist nicht die veränderte Zelle.

Wir wollen uns das auch noch an den Krankheiten klar machen, die von abgestorbenen Geweben abhängen. Wenn Teile auf irgendeine Weise zugrunde gehen, so können dadurch je nach ihrem Sitz ernste Störungen hervorgerufen werden, aber man könnte das Tote doch unter keinen Umständen als das Ens morbi auffassen. Etwas Abgestorbenes kann nicht das Wesen eines abnormen Lebensvorganges sein. Nicht minder deutlich ist es dort, wo wichtige Organe von vornherein ganz fehlen oder auf irgendeine Weise verloren gingen. Der fehlende Teil ist natürlich nicht das Wesen der Krankheit.

Virchows Anschauungen über das Krankheitswesen hingen nun aufs engste zusammen mit der Frage nach dem Sitz der Krankheit. Von ihm hatte zuerst Morgagni in seinem berühmten Werke „De sedibus et causis morborum" im Jahre 1761 gesprochen. Er stellte die damals schon reichlichen Erfahrungen über die anatomischen Befunde in kranken Körpern zusammen und zeigte, daß jeder einzelnen Krankheitsform eine bestimmte Veränderung im Organismus entsprach, daß bald dieses, bald jenes Organ von dem normalen Verhalten abwich. Und die veränderten Teile bezeichnete er nun als den Sitz der Krankheit. Das war eine wichtige Tat. Sie wurde von Virchow mit größtem Nachdruck hervorgehoben und als ein außerordentliches Verdienst Morgagnis bezeichnet. Virchow drückte es so aus, daß er sagte, Morgagni habe zuerst den anatomischen Gedanken in die Medizin eingeführt. Diese Auffassung von den Organveränderungen als dem Sitze der Krankheiten ließ sich natürlich schwer mit der Humoralpathologie in Einklang bringen, die ja die Grundlagen der Krankheiten in das Blut verlegte und die lokalen Prozesse von den primär beteiligten Säften abhängig sein ließ. Denn wenn die Krankheit in den veränderten Organen saß, dann mußten diese auch das primäre sein. Und so hat es Virchow auch gegen Rokitansky ausgeführt.

Er selbst aber knüpfte an Morgagni an, indem er auch von dem Sitze der Krankheiten redete. Und für ihn war selbstverständlich die veränderte Zelle dieser Sitz. Aber auch hier müssen wir sagen, daß diese Auffassung nicht haltbar ist.

Damit müssen wir uns etwas genauer beschäftigen und zunächst nur kurz darauf hinweisen, daß es auch Krankheiten, z. B. manche Vergiftungen, etwa eine akute Morphiumvergiftung, gibt, die so schnell von dem ganzen Organismus Besitz ergreifen, daß von irgendeinem lokalen Prozeß, von einem Sitz nicht gesprochen werden kann. Auch einzelne akute Infektionen können so beurteilt werden. Aber es handelt sich da um verhältnismäßig seltene Krankheiten. Wichtiger sind andere Gesichtspunkte.

Hätte Virchow sich darauf beschränkt zu sagen, daß die Krankheiten in erster Linie abhängen von lokalen Prozessen, von Veränderungen dieses oder jenes Organes, an die sich bald allgemeinere Störungen anschließen, so hätte er dem Tatbestand in einfacher und klarer Weise Rechnung getragen und nicht mehr behauptet, als auf seiner Grundlage möglich war. Aber er ging weiter. Er betrachtete die Krankheit nicht eigentlich als die Folge primärer Organveränderungen, sondern als etwas bis zu einem gewissen Grade Selbständiges. Denn nur so konnte er ja daran denken, ihr einen umschriebenen „Sitz" anzuweisen, von dem aus sie den übrigen Körper mit ergriff. Aber wenn diese Vorstellung vom Sitz richtig sein soll, dann muß die Krankheit in ihm auch eindeutig bestimmt, in ihm in allen ihren charakteristischen Eigenschaften vorhanden sein. Ist das der Fall? Die Frage muß unbedingt verneint werden. Folgende Beispiele machen es klar.

Abnorme Zustände des Gehirns können allerdings zuweilen für sich allein völlig ausreichen, um ein Individuum krank zu

Digitized by Google

machen und zu vernichten, ohne daß irgendein anderes Organ irgendwelche Schädigungen aufzuweisen brauchte. Auch das Herz kann so sehr im Vordergrund einer Erkrankung stehen, daß die übrigen Körperteile keine Abnormitäten zeigen, die daneben eine wesentliche Rolle spielen können. Aber wenn das schon hier nur für einen Teil der Fälle gilt, so werden bei der überwiegenden Zahl aller anderern Ogane stets sonstige lebenswichtige Körperteile so in Mitleidenschaft gezogen, daß dadurch das Bild der Krankheit charakteristisch mit bestimmt wird.

So erlangt das abnorme Verhalten der Nieren bei der Nephritis erst dadurch krankmachende Bedeutung, daß die harnfähigen Substanzen im Blute zurückgehalten werden und nun vor allem auf Herz und Zentralnervensystem schädlich einwirken. Die eigentlichen Krankheitsvorgänge, die wir am Patienten feststellen, sind demnach bedingt durch die Abnormitäten der den „Sitz" der Krankheit darstellenden Nieren. Von den geschädigten Nierenepithelien ist die Läsion der das Herz und das Gehirn zusammensetzenden Zellen abhängig und deren abnormes funktionelles Verhalten läßt die Krankheitserscheinungen hervortreten.

Aus diesen Ueberlegungen ergibt sich, daß wir die Nieren nicht als den Sitz sondern als die Grundlage, als den Ausgangspunkt der Krankheiten bezeichnen müssen. Wenn man überhaupt von einem Sitz reden will, dann muß man so nur die Gesamtheit der veränderten Zellen aller Organe nennen.

Betrachten wir weiterhin eine möglichst umschriebene, vielleicht durch einen Stich herbeigeführte quere Durchtrennung des Rückenmarkes, so sind die an Ort und Stelle vorhandenen Zellveränderungen relativ geringfügig. Sie, also der „Sitz" der Krankheit, würden für sich allein dem Körper kaum einen Nachteil erbringen. Erst die an die Leitungsunterbrechung sich anschließenden Prozesse innerer Organe, insbesondere der Harnblase und der Nieren, wirken krankmachend. Analog liegen die Verhältnisse bei Verletzung einer Arterie, die für sich allein nichts bedeutet, aber durch die dem Blutverlust folgende Anämie bedrohlich wird oder bei Verlegung des Ausführungsganges einer Drüse, deren lokale Veränderungen unbedeutend sind, die aber durch Behinderung des Sekretabflusses, z. B. der Galle, schwere Erkrankungen bedingen kann.

Aus diesen Beispielen geht hervor, daß man zwar von einem Ausgangspunkt der Krankheit, nicht aber von ihrem Sitz sprechen kann. Sie ist immer erst die Folge der an dem vermeintlichen Sitz befindlichen Organveränderungen, sie ist von ihnen abhängig, sie ist die Summe der durch sie bedingten funktionellen Störungen.

5. Virchows Unterscheidung der funktionellen, nutritiven und formativen Reizung. Aber in der Zellularpathologie, so wie Virchow sie auffaßte, war noch mehr enthalten, als aus den bisherigen Ausführungen hervorgeht. Es wird das klar, wenn wir fragen: Wie kam Virchow dazu, die veränderte Zelle als das Wesen der Krankheit anzusehen, sie also in einem gewissen Umfange zu personifizieren? Das war nur möglich, wenn die Zelle durch die auf sie einwirkenden Schädlichkeiten nicht lediglich geschädigt wurde, sondern auch gesteigerte Lebensvorgänge zeigte. Denn nur, was ein ausgesprochenes Leben führt, kann das Wesen eines Lebensprozesses, wie es doch die Krankheit ist, darstellen. Tote Teile, wie wir schon sagten, oder mit vermindertem Leben versehene, können es nicht. Und nun glaubte es Virchow in der Tat zu sehen, daß die veränderten Zellen eine erhöhte Vitalität darboten. Er sah an ihnen Vergrößerung, Schwellung, Teilung, Vermehrung, und diese Vorgänge sollten hervorgerufen sein durch den Reiz der einwirkenden Schädlichkeiten.

Virchow unterschied 3 Arten von Reizen, den funktionellen, den nutritiven, den formativen. Der erste ist der Reiz, den jeder anerkennt, der die Tätigkeit der Zellen anregt, der nutritive Reiz sollte die Zellen veranlassen, sich stärker zu ernähren, mehr Nahrungsstoffe aufzunehmen, der funktionelle Reiz aber sollte zur Wucherung der Zellen führen.

6. Bedenken gegen Virchows Reiztheorie. Gegen diese Anschauungen hat zuerst Carl Weigert sich ausführlich ausgesprochen. Er führte aus: Wenn ein Reiz an der Zelle irgendeinen Lebensvorgang veranlaßt, dann besteht dieser immer nur in einer Funktion, niemals in Wachstum und Teilung. Die funktionelle Reizung auf der einen und die Zellvergrößerung und Wucherung auf der anderen Seite sind streng auseinanderzuhalten. Mit der ersteren ist stets ein durch Regeneration sich meist rasch wieder ausgleichender Untergang von Zellsubstanz verbunden, eine Katabiose, mit den anderen Prozessen stets eine Neubildung. Es ist aber undenkbar, daß ein Reiz diese durchaus verschiedenen, diese entgegengesetzten Wirkungen haben könnte. Das ist auch dann nicht möglich, wenn man mit Virchow annähme, daß der Reiz bei geringer Intensität Funktion, bei größerer progressive Prozesse veranlasse. Denn die

Digitized by Google

wechselnde Stärke des sich qualitativ gleich bleibenden Reizes kann niemals zu prinzipiell differenten Folgen führen.

Diesen Ausführungen Weigerts lassen sich folgende Ueberlegungen anreihen. Virchow dachte sich, daß die Stärke des Reizes für die Art der Reaktion der Zelle ausschlaggebend sei. Ein gewöhnlicher Reiz bewirke Funktion, ein stärkerer Nutrition, ein starker formative Prozesse. Aber nun mache man den Versuch. Man wird sehen, daß bei Zunahme des Reizes zunächst vielleicht die Funktion noch zunimmt, dann aber wird sie abnehmen und wegen Erlahmung der Zelle aufhören. Wenn man nun noch stärker reizt, wird dann die Zelle mehr Nahrung aufnehmen und wird sie sich bei noch größerer Zunahme der Reize teilen? Beides wird gewiß nicht eintreten. Und wenn man den Versuch lange genug fortsetzte und dann die Zellen untersuchte, dann würde man Veränderungen an ihnen finden, die wir als degenerative ansehen müssen. Eine übermäßige Zunahme des funktionellen Reizes schadet also der Zelle, bringt sie aber nicht zu nutritiven und formativen Veränderungen.

Nun war aber Virchow selbst der Meinung, daß die nutritive Reizung, die also zunächst nichts weiter bedeute als eine stärkere Ernährung, sehr oft in Degeneration ende, nur ein Uebergangsstadium in sie darstelle. Damit ist dann aber das weitere Hinzutreten einer Zellteilung ausgeschlossen. Wenn schwächere Reize die Zelle bis zur Degeneration schädigen, können stärkere unmöglich eine Zellteilung bewirken.

Wie sollte man sich überhaupt die Wirkungsweise der formativen Reizung denken? Darüber gibt es keine klare Vorstellung. Wie eine über die funktionelle Reizung hinausgehende Einwirkung nun statt Funktion Neubildung von Substanz und dann Zellteilung machen sollte, das bleibt durchaus im Dunkeln. Auch Virchow konnte es nur annehmen, nicht erklären. Er glaubte es eben zu sehen. Indessen war auch er nicht der Meinung, daß die Reize ohne weiteres die ganze Zelle zur Wucherung anregten. Er dachte, daß die Reize zunächst innerhalb der Zelle selbst Teile des Protoplasmas schädigten und im Anschluß daran die nicht lädierten Teile zur Neubildung veranlaßten. Die formative Reizung sollte also immer auch mit einer Schädigung der Zelle einhergehen. Aber auch nach dieser Anschauung sollte doch der Reiz, wenn nicht auf die ganze Zelle, so doch auf einen Teil direkt formativ, also ebenso wirken, wie wenn er die ganze nicht zuvor geschädigte Zelle träfe. Das ist aber natürlich ebenso unerklärlich, wie es im letzteren Falle sein würde. Ein Reiz, der einen Teil der Zelle vernichtet, kann im anderen nicht Neubildung bewirken. Tatsächlich freilich haben wir Anhaltspunkte dafür, daß im ganz gesunden Abschnitt der Zelle das Protoplasma in Vermehrung gerät, aber das ist dann durchaus nicht der Ausdruck einer formativen Reizung, sondern der eines Wiederersatzes des Verlorengegangenen, einer Regeneration, die aufhört, so bald das Fehlende ersetzt ist. Darauf gehen wir nachher weiter ein.

Aber um das Nebeneinandervorkommen von Degeneration und Neubildung verständlich zu machen, schuf Virchow den Begriff der „progressiven Ernährungsstörung“. Das ist indessen eine unmögliche Kombination. Eine Störung der Ernährung und ein progressiver Prozeß können nicht der Ausdruck einer und derselben Zellveränderung sein. Wenn die Zelle im ganzen in ihrer Ernährung gestört ist, kann sie keine progressiven Erscheinungen zeigen, ebensowenig, wenn nur ein Teil geschädigt wurde und durch ihn die ganze Zelle leidet. Wenn aber ein Abschnitt gestört ist, und der Rest regeneriert, so kann man nicht von progressiver Ernährungsstörung der Zelle reden. Was gestört ist, zeigt keine progressiven Veränderungen und was wächst, ist nicht gestört. Progressive Erscheinungen und Ernährungsstörungen schließen sich aus. Beide Vorgänge können nur räumlich nebeneinander, nicht in dem gleichen Zellabschnitt bestehen. Wenn man aber sagen wollte, gerade die räumliche Kombination in der Zelle stelle das dar, was man progressive Ernährungsstörung nenne, dann kann das nur zu einem Irrtum führen. Man würde doch zunächst immer denken, dasselbe Protoplasma solle zugleich Ernährungsstörung und progressive Prozesse zeigen und das eben ist nicht möglich. Es gibt also keine progressive Ernährungsstörung.

Aber der Begriff ist nicht nur von Virchow, sondern auch von seinen Schülern gebraucht worden und auch heute liest man noch viel von progressiver Ernährungsstörung. Man glaubt damit eine Erklärung für manche Neubildungen, insbesodere für die Geschwülste gewonnen zu haben. Aber das ist ein schwerwiegender Irrtum. Ein falscher Ausdruck kann nichts erklären, er kann nur verwirren, und es ist daher sehr zu bedauern, daß er immer noch benutzt wird.

Nun wird mancher vielleicht einwenden, Virchow habe doch alle die progressiven Prozesse wirklich gesehen, alle die Zellteilungen und Neubildungen bei der Entzündung und bei der Geschwulstbildung. In beiden Fällen sah und beschrieb er die ins Ungeheure gehende Produktion von

Digitized by Google

Zellen. Gewiß, an der Tatsache dieser Proliferation ist nicht zu zweifeln, und wir sind voll Bewunderung für Virchow, der trotz der Unvollkommenheit der damaligen Methoden so vortreffliche Beobachtungen machte. Aber nicht um die Neubildung selbst, sondern um ihre Erklärung handelt es sich. Auf sie wollen wir aber erst später eingehen. Hier wollen wir nur vorwegnehmen, daß alle diese progressiven Vorgänge an den Zellen mit der Krankheit nur einen indirekten Zusammenhang haben, daß sie die Folgen der die Krankheit bedingenden Veränderungen sind, daß sie aber selbst keine oder nur sekundäre Störungen mit sich bringen. Damit fallen sie aber für die Definition, für die Auffassung der Krankheit fort. Es ist keine Berechtigung mehr, sie im Sinne Virchows als Teilerscheinungen des krankhaften Prozesses anzusehen und vor allem daraufhin die veränderte Zelle als das Wesen der Krankheit zu betrachten.

Leider ist auch diese Erkenntnis noch keineswegs überall verbreitet. Noch immer kann man lesen, daß eine gesteigerte Zelltätigkeit, wie vor allem die der Geschwulstbildung, ein krankhafter Prozeß sei.

7. **Die Grundlagen der Krankheiten sind allein die regressiven Veränderungen der Gewebe:** Aber wenn wir das aus später genauer zu besprechenden Gründen ablehnen, was sind dann nun die eigentlichen Grundlagen der Krankheitserscheinungen? Ganz allein und ausschließlich die regressiven Veränderungen an den Zellen, diejenigen also, durch die die Existenz der Zellen beeinträchtigt oder durch die ihr Leben völlig vernichtet wird.

7a) Nekrose. Sehen wir uns zunächst diese regressiven Veränderungen in den wesentlichsten Zügen an.

Die hochgradigste Störung, die eine Zelle treffen kann, ist ihr völliger Untergang, ihr Tod, ihre Nekrose. Wir sehen ihn außerordentlich oft eintreten. An ihr trägt einmal jede dauernde Unterbrechung der Ernährung die Schuld, wie sie in erster Linie durch die Verhinderung der arteriellen Blutzufuhr bedingt ist. Wenn die Arterien verschlossen sind, kommt sehr oft kein Blut mehr in das sonst von ihnen versorgte Gebiet, dann nämlich nicht mehr, wenn die Möglichkeit ausgeschlossen ist, daß auf anderem Wege, durch einen sogenannten Kollateralkreislauf eine Versorgung des Gebietes eintritt. Es ist aber von dem größten Interesse, daß diese ungünstigen Bedingungen gerade in den lebenswichtigsten Organen verwirklicht sind. Gehirn, Herz, Lungen, Milz, Nieren, Leber und in gewissem Umfange auch der Darm sind mit Endarterien versehen, d. h. mit solchen Arterien, die nicht durch Kollateralen zusammenhängen. In den Lungen allerdings können sich die Pulmonal- und die Bronchialarterie, in der Leber die Pfortader und die Leberarterie teilweise vertreten. Geschieht das nicht und wird in Gehirn, Herz, Milz und Niere ein Arterienast, im Darm oder im Mesenterium eine der Stammarterien verschlossen, so stirbt das zugehörige Gebiet unfehlbar ab. Eine Verlegung der zuführenden Gefäße ist aber ein häufiges Ereignis (so z. B. bei der Arterienverkalkung durch die Verdickung der Wand und sehr oft durch eine zu ihr hinzutretende Thrombose).

An zweiter Stelle führen chemische Einwirkungen zum Absterben der Gewebe, so z. B. Aetzungen mit Säuren, Alkalien, Chlorzink, Argentum nitricum usw., zumal, wenn diese Substanzen konzentriert in den Magen und Darm gelangen, so weiterhin im Körper unter pathologischen Bedingungen, z. B. bei dem Diabetes, bei der Gicht, der Gelbsucht gebildete Substanzen, so endlich und vor allem die Gifte, die von den Bakterien erzeugt werden, die sogenannten Toxine der Tuberkelbazillen, der Typhusbazillen, der Diphtheriebazillen usw. In erster Linie wirken nekrotisierend die Tuberkelbazillen. Bei der Häufigkeit der menschlichen Tuberkulose kann man sagen, daß bei weitaus den meisten Menschen sich manchmal freilich nur kleine Herde finden, die aus einem durch die Bazillen getöteten Gewebe oder nekrotischen Material bestehen.

So ist also die Nekrose außerordentlich häufig. Ihre wesentlichsten Merkmale sind einerseits die allmählich sich einstellende Aufhebung aller Gewebsstruktur und andererseits der Verlust der Kerne, der wenige Tage nach Beginn des Absterbens nachweisbar ist. Totes Gewebe ist also kern- und strukturlos. Seine Funktion hört aber schon viel früher, schon fast sofort auf, nachdem die Blutzufuhr abgeschnitten wurde oder das Gift ausreichend intensiv einwirkte. Die Nekrose müßte sich, demnach unter allen Umständen durch den Ausfall der Funktion bemerkbar machen, wenn sie in einem größeren Umfange einträte. Das ist aber nur relativ selten der Fall. Von der überwiegenden Zahl der Nekrosen hat der Mensch keine schwereren Folgen, sie sind zu klein, um bemerkt zu werden, der Ausfall an Gewebe ist zu gering. Aber auch große Nekrosen, z. B. der Nieren, der Milz, bleiben in dem Gesamtkrankheitsbilde, dem sie angehören, oft ganz unbemerkt, während natürlich ein Untergang von Gehirnsubstanz oder von Herzmuskulatur meist Folgen nach sich ziehen wird, im ersteren Falle oft einen Schlaganfall, im letzteren eine Erlahmung des

Digitized by Google

Herzens. Nebenbei bemerkt ist auch der Schlaganfall, der durch eine aus einem zerrissenen Gefäß erfolgende Blutung in das Gehirn bedingt ist, stets mit einem Absterben der Gehirnsubstanz verbunden, die von dem sich hineinwühlenden Blute zertrümmert wird. Neben der herdweisen Nekrose kann es aber auch zu einem totalen Absterben ganzer Organe kommen. So vernichtet die Tuberkulose zuweilen beide Nebennieren in voller Ausdehnung oder eine ganze Niere. Durch Arterienverschluß kann ebenfalls, wenn auch selten eine ganze Niere, ein ganzer Hoden absterben.

7b) Degeneration. Eine zweite Gruppe von Störungen umfaßt alle die Fälle, in denen die Zelle zwar nicht oder erst nach längerer Zeit abstirbt, aber allerlei Veränderungen darbietet, die sich mit ihrer normalen Funktion nicht mehr vertragen. Wir reden dann von einer Degeneration, Entartung. Bei ihr handelt es sich darum, daß durch irgendwelche äußere Einwirkungen die Zelle in ihrem Bau eine Umgestaltung erfährt, die man mit Hilfe des Mikroskops zunächst nicht immer erkennen, jedenfalls aber nicht scharf charakterisieren kann, vor allem deshalb nicht, weil wir auch unter normalen Verhältnissen über die Bedeutung der einzelnen Zellbestandteile, über ihre Struktur und Funktion, noch keineswegs ausreichend unterrichtet sind. Wir sehen später allerdings manche Veränderungen, z. B. ein Verschwinden der Zellgranula, der Stäbchenstrukturen, der Nißlschen Granula in den Ganglienzellen, und wir müssen annehmen, daß damit Elemente fortgefallen sind, denen eine bestimmte Aufgabe zukam, aber was es damit im einzelnen für eine Bewandtnis hat, darüber können wir nicht viel aussagen. Nur ganz im allgemeinen läßt sich annehmen, daß in den geschädigten Zellen die funktionellen Strukturen beeinträchtigt sind, daß sie sich auch aus den zugeführten Nährstoffen nicht wieder normal aufbauen können, daß die Zelle ferner nicht mehr imstande ist, die sonst für ihr Leben und ihre Tätigkeit notwendigen Stoffe ausreichend zu verarbeiten, so daß diese dann unverbraucht liegen bleiben. Soweit sie aber verarbeitet werden, wird ihre Umsetzung Produkte liefern, die sonst nicht oder nur als Zwischenstufen vorkommen. So wird also der Stoffwechsel allerlei Abnormitäten zeigen müssen.

Wenn die Zelle nur wenig geschädigt ist, wird die Aufnahme von Nährstoffen oder von solchen Substanzen, die unter normalen Verhältnissen in die Zelle eintreten, um in ihr irgendwelchen Aufgaben zu genügen, zunächst nicht notwendig verhindert sein. Nur ihre Umsetzung ist vermindert. Dann wird die Zelle an Volumen gewinnen und wegen der größeren Menge der eingelagerten Massen undurchsichtiger, trüber aussehen. Wir reden dann von einer trüben Schwellung, einer Veränderung, die praktisch keine beträchtliche Bedeutung beanspruchen kann, die aber theoretisch eine große Rolle gespielt hat. Virchow nämlich war der Meinung, daß diese Schwellung der Ausdruck der nutritiven Reizung sei. Die Zelle sei durch die als Reiz wirkende äußere Schädlichkeit veranlaßt worden, mehr Nahrung aufzunehmen. Die nutritive Reizung könne dann in die formative übergehen und nun könne sich an die trübe Schwellung die Zellteilung anschließen. Aber Virchow kam auch schon selbst zu dem Schluß, daß diese progressive Weiterentwickelung keineswegs die Regel sei. An die nutritive Reizung könne sich auch eine Degeneration der Zelle anschließen. Heute sind wir darüber im klaren, daß die trübe Schwellung niemals eine reine Nutrition darstellt, daß sie vielmehr schon von Anfang an unter allen Umständen eine regressive Metamorphose bedeutet. Die Zelle schwillt nur deshalb trübe an, weil sie verändert ist und das eindringende Material nicht verarbeiten kann. Nur das darf man dabei auch nicht vergessen, daß die Substanzen, die das Protoplasma trüber erscheinen lassen, nicht alle als solche von außen aufgenommen sein müssen, sondern daß sie auch schon in der Zelle eine ungewöhnliche oder eine unvollkommene Umsetzung erfahren haben können. Darauf deutet der Umstand, daß vieles von dem, was man in der Zelle findet, als Protagon oder Myelin angesprochen wird, also als Substanzen, die kaum alle in dieser Form aufgenommen sein werden.

Für die Auffassung des degenerativen Charakters der trüben Schwellung spricht die Tatsache, daß mit ihr eine Schädigung oder Aufhebung der funktionellen Zellstrukturen verbunden ist. Die Nierenepithelien z. B., an denen die Veränderung besonders oft und deutlich zu sehen ist, lassen keine Granula und keine Stäbchenstrukturen mehr erkennen. Wir wissen ferner, daß die trübe Schwellung die Folge einer Einwirkung verschiedener giftiger Substanzen ist, so vor allem der bakteriellen Toxine, denen man unmöglich den Charakter eines funktionellen und nutritiven Reizes zuschreiben kann. Man darf es ruhig aussprechen, daß diese Gifte das Protoplasma lediglich schädigen, niemals aber zu einer normalen Tätigkeit oder zu besserer Ernährung bringen können. Das ist so selbstverständlich, daß man es kaum begreift, wie der Begriff der trüben Schwellung als eines nutritiven Vorganges sich so lange halten konnte.

Als das Toxin, das in erster Linie trübe

Digitized by Google

Schwellung zu machen pflegt, ist das der Diphtheriebazillen zu nennen. Doch kommen auch die Typhusbazillen, die Pneumoniekokken und andere in Betracht.

Eine weit wichtigere Rolle als die trübe Schwellung spielt bei der Entstehung von Krankheitserscheinungen die fettige Degeneration. Bei ihr ist der charakteristische Befund das Auftreten von Fett oder fettähnlichen Substanzen in den Zellen. Ursprünglich wurden die verschiedenen hier in Betracht kommenden Stoffe nicht unterschieden. Man dachte zunächst nur an die neutralen Fette. Und nun war Virchow der Meinung, daß die fettige Degeneration in einem mit Freiwerden von Fett verbundenen Zerfall des Protoplasmas bestände. So hat man es mit ihm jahrzehntelang aufgefaßt, bis man allmählich zu anderen Anschauungen kam. Dafür waren vor allem die Erfahrungen der Physiologen maßgebend, die mehr und mehr eine Bildung von Fett aus dem Eiweiß ablehnten. Es mußte also eine andere Erklärung gefunden werden. Die Untersuchung der fraglichen Substanzen ergab aber weiterhin, daß sie durchaus nicht einheitlicher Natur sind. Es kommen einmal die gewöhnlichen neutralen Fette in Betracht, wie wir sie in den Fettzellen der Unterhautfettgewebes antreffen, ferner die Cholesterinester, also die Verbindungen des Cholesterins mit den Fettsäuren, die gerade neuerdings in der Frage der Verfettung der Zellen eine besonders große Rolle spielen, und drittens die Lipoide, wie Lezithin, Myelin. Die Feststellung dieser Unterschiede geschieht außer durch chemische Untersuchungen auch durch den Polarisationsapparat, in dem die Cholesterinester und Lipoide, nicht aber die neutralen Fette, Doppelbrechung zeigen, und durch verschiedene Färbemethoden.

Wie ist nun zunächst der histologische Befund der Fettentartung? Das Fett — wir gebrauchen der Kürze halber zunächst nur diesen Ausdruck — tritt in den Zellen in Form von Tröpfchen auf, aber überwiegend nicht wie im Unterhautzellgewebe in Gestalt eines großen, die Zelle aufblähenden Tropfens, sondern in Form kleiner, oft unzählig vieler kleinster Tröpfchen. Ganz besonders ausgesprochen pflegt das im Herzmuskel zu sein, in dem die feinsten Fettkörnchen manchmal wie ein Fettstaub den Muskelzellen eingelagert erscheinen. Sind sie etwas größer, so erkennt man, daß sie hier zwischen den Muskelfibrillen liegen und parallel mit ihnen regelmäßige Längsreihen bilden. Sie liegen also im interfibrillären Sarkoplasma. Löst man das Fett auf, so bleiben entsprechende kleinste Lücken zurück. Sehr regelmäßig tritt das Fett gern auch in den Nierenepithelien auf, in denen es, und zwar vorwiegend in denen der gewundenen Kanäle, im Anfang nahe der Membrana propria liegt, und so manchmal einen hübschen Kranz glänzender Tröpfchen bildet. Später finden sich Fettkügelchen auch in den übrigen Zellabschnitten. Sie werden dabei meist verschieden groß und können den Zellkern an Umfang weit übertreffen. Entfernt man dann das Fett, so zeigt das Protoplasma einen von Vakuolen durchsetzten wabenartigen Bau. In ähnlicher Weise verfetten die Leberzellen, aber bei ihnen kommt es oft zur Bildung großer Tropfen, die eine Zelle ganz ausfüllen können. Als letztes Beispiel seien endlich die Zellen der Intima der Aorta genannt, die bei der sogenannten Arteriosklerose leiden. Sie liefern die zierlichsten Figuren. Es sind platte Zellen, die nach allen Seiten Ausläufer aussenden. Und nun ist sowohl der Zelleib wie jeder Fortsatz mit glänzenden, fast gleichmäßig großen Tröpfchen versehen, so daß eine schöne sternförmige Anordnung zustande kommt, die dadurch noch mehr auffällt, daß zahlreiche Zellen so verändert sind und daß ihre Ausläufer sich vielfach kreuzen.

Wie kommen nun alle diese Fette und fettähnlichen Substanzen in die Zelle hinein? Es gibt dafür in der Hauptsache zwei Möglichkeiten: entweder waren sie in der Zelle schon enthalten und sind unter den pathologischen Bedingungen nur deutlich hervorgetreten oder sie sind ihr von außen zugeführt worden.

Die erstere Möglichkeit ist dadurch nahe gelegt, daß die normalen Gewebe, worauf in erster Linie Rosenfeld hinwies, so besonders die Niere, schon reichliches Fett enthalten können, auch wenn man es mikroskopisch in ihnen nicht sehen kann. Es muß also in dem Protoplasma gelöst oder in einer unsichtbaren Form sonstwie gebunden sein. Unter diesen Umständen ist es dann begreiflich, daß die geschädigte Zelle das Fett nicht mehr wie sonst beherbergen kann, sondern es gleichsam tropfenförmig ausfallen läßt. E. Albrecht hat im Sinne dieser Vorstellung, aber nicht nur mit Bezug auf die Fette, von einer „tropfigen" Entmischung gesprochen.

Aber das Sichtbarwerden schon vorhandener Fette reicht nur zum geringsten Teil aus, um die histologischen Verhältnisse, die Anfüllung der Zellen mit zahlreichsten und großen Fetttropfen zu erklären. Am deutlichsten läßt sich das an der Leber zeigen, die manchmal durch die Fetteinlagerung in ihre Zellen erheblich anschwillt. Das ist nur dadurch zu erklären, daß die Fette dem Organ reichlich zugeführt werden und in ihm sich anhäufen. In den wichtigsten Fällen handelt es sich darum, daß die Fette

Digitized by Google

aus dem Blute in die Zellen hinein gelangen. Die weniger wichtigen, in denen sie aus der näheren Umgebung in das Protoplasma aufgenommen werden, brauchen uns hier nicht zu beschäftigen. Woher stammen nun aber die Fette? Entweder aus der Nahrung oder aus anderen Stellen des Körpers, an denen sie zunächst abgelagert wurden. Hier kommt in erster Linie das subkutane und das sonstige Fettgewebe in Betracht. Aus ihm tritt das Fett in das Blut über und gelangt in ihm an die Stellen der fettigen Degeneration. Wir nennen das einen Fetttransport. Er hat sich auf folgende Weise (hauptsächlich durch Rosenfelds Untersuchungen) nachweisen lassen. Man fütterte Hunde längere Zeit mit Fetten, die sich durch ihren Schmelzpunkt deutlich von denen des Fettgewebes dieser Tiere unterschieden, also mit Pflanzenfetten oder mit Hammeltalg, dessen Schmelzpunkt wesentlich höher liegt. So wurde das Fett des Hundes allmählich völlig durch das zugeführte ersetzt. Dann vergiftete man das Tier mit Phosphor, durch den eine Verfettung der Leber herbeigeführt wird, und gab dabei wieder die gewöhnliche Nahrung. Wenn man dann die Leber untersuchte, die vorher fettfrei war, dann konnte man in ihr das fremde Fett nachweisen, das also nur aus den primären Fettdepots stammen konnte. Die Möglichkeit der Fettwanderung und der Fettaufnahme in die geschädigten Zellen war damit bewiesen. Der innere Zusammenhang dieser Vorgänge kann aber nur so sein, daß das Blut durch den Uebergang in die Zellen an Fetten verarmt und daß entsprechend viel Fett zum Ersatz aus den Depots in das Blut abgeliefert wird. Was aber für die neutralen Fette gilt, muß in ähnlicher Weise auch für die Cholesterinester und die Lipoide angenommen werden. Nur daß wir hier nicht solche charakteristische Depots haben, wie sie das Fett repräsentiert. Aber wie auch hier eine Anschwellung der geschädigten Teile stattfinden kann, das sehen wir vor allem an den beetförmigen Verdickungen der Arterieninnenfläche bei der Arteriosklerose. Mit dem reichlicheren Gehalt an den Fetten, die hier in erster Linie Cholesterinester sind, nimmt die Dicke der Beete zu.

Weshalb aber häuft sich das Fett in den Zellen an? Wenn wir uns hier wieder allein auf die fettige Degeneration beschränken und von dem absehen, was wir Fettmästung nennen, dann ist der Grund allein darin zu suchen, daß die Zellen nicht mehr fähig sind, die aufgenommenen Fette zu verarbeiten oder weiter zu geben. Und darin findet eben die zugrunde liegende Schädigung einen charakteristischen Ausdruck.

Unter fettiger Degeneration haben wir also die Läsion der Zelle zu verstehen, bei der das in sie eingetretene Fett nicht in den Stoffwechsel eingeht, sondern unverbraucht liegen bleibt.

Die pathologische Veränderung des Protoplasmas aber läßt sich unter dem Mikroskop aus verschiedenen Umständen ableiten. Zunächst einmal ist die Zelle nach Lösung des Fettes von entsprechend vielen Vakuolen durchsetzt. Das könnte ja nun vielleicht lediglich als eine mechanische und sekundäre Folge der Fetteinlagerung angesehen werden. Aber der Befund ist doch ein anderer als in normalen fetthaltigen Zellen. Bei der einfachen Fettmästung findet sich das Protoplasma um einen großen Tropfen herumgelagert, ohne selbst weiter geschädigt zu sein. Hier aber ist es von zahlreichen Fetttröpfchen in sich auseinander gedrängt. Man kann leicht verstehen, daß es dadurch beeinträchtigt wird. Diese Lagerungsweise erklärt sich aber daraus, daß die lädierte Zelle das Fett nicht auf einen großen Tropfen zu konzentrieren vermag, sondern es überall in kleinen Kugeln zerstreut in sich liegen lassen muß. Weiterhin fehlen auch bei der fettigen Degeneration in den Zellen alle jene normalen Strukturen, die man auch bei der trüben Schwellung verschwinden sieht, so z. B. außer jenen Körnchen und Stäbchen der Nierenepithelien auch die Querstreifung der Herzmuskulatur, wenigstens dann, wenn der Prozeß über die frühesten Stadien hinaus ist.

In den höchsten Graden aber kommt es zu einem völligen Zerfall der veränderten Zellen. Die Nierenepithelien lösen sich voneinander und von der Membrana propria, sie fallen in das Lumen der Harnkanälchen, werden fortgeschwemmt und zerfallen dabei in die einzelnen Fetttröpfchen. Die Leberzellen gehen in einzelnen Fällen, so besonders bei der akuten gelben Leberatrophie, ganz zugrunde. Sehr ausgesprochen sehen wir das auch bei den verdickten Stellen der Arterienintima. Hier zerfällt das fettig degenerierte Gewebe in einen Fettbrei, der sich beim Einreißen der zunächst noch erhaltenen obersten Schicht der beetförmigen Erhebungen in das Blut entleert. Die fettige Degeneration endet also nicht selten mit dem völligen Untergang der ergriffenen Zellen und Gewebe. Dadurch ist eine Beziehung zur Nekrose gegeben. In beiden Fällen verfallen die Zellen dem Untergang, bei der Nekrose dem raschen Tode, bei der Degeneration dem langsamen allmählichen Absterben. Wir pflegen diesen Vorgang, der durch ein herabgesetztes Leben nach und nach zum Absterben führt, Nekrobiose zu nennen.

Die Bedeutung der fettigen Degeneration

Digitized by Google

im Krankheitsbilde ist selbstverständlich sehr groß, wenn auch natürlich weniger deshalb, weil Fett im Protoplasma liegt, als deshalb, weil die Zellen in ihrer Zusammensetzung geschädigt sind. Sie wird aber um so größer sein, je hochgradiger sie ist. Im Anfang, wenn die Veränderung noch wenig ausgeprägt ist, leidet auch die Funktion noch nicht wesentlich. Man hat z. B. nachweisen können, daß der in mäßigem Grade fettig entartete Herzmuskel den gewöhnlichen Ansprüchen gegenüber noch genügt, daß er aber versagt, sobald höhere Anforderungen an ihn herantreten. Wird mit der zunehmenden Degeneration die Zelle aber stärker lädiert, dann muß das zu merkbaren funktionellen Beeinträchtigungen im Herzmuskel, in der Niere usw. führen. Krankheitserscheinungen und tödlicher Ausgang durch Versagen der Organe sind die Folge.

Neben der Fettentartung spielen andere in den Zellen ablaufende Degenerationen keine nennenswerte Rolle. Wir sehen hier ganz von ihnen ab. Es ist eben so, daß fast jede degenerative Veränderung an den Zellen, soweit sie auf einer durch den Angriff der Schädlichkeiten bedingten Strukturänderung des Protoplasmas beruht, mit einer Einlagerung von Fett verbunden ist. Es handelt sich ja darum, daß die in die Zelle aufgenommenen Stoffe nicht mehr verarbeitet werden können.

7c) Atrophie. Außer den degenerativen Prozessen gibt es ferner eine einfache Größenabnahme der Zellen, die mit einer Verminderung der Funktion und schließlich mit dem Aufhören verbunden ist. Wir nennen das Atrophie. Sie ist allerdings unter pathologischen Verhältnissen niemals eine primäre Erscheinung, sie entsteht also nicht unter dem direkten Einfluß der Schädlichkeiten, sondern immer erst in Abhängigkeit von anderen voraufgegangenen Erkrankungen. Aber sie kann nach ihrem Umfange und der davon abhängigen Funktionsstörung so in den Vordergrund treten, daß sie im Krankheitsbilde eine große Rolle spielt.

Zunächst sei aber daran erinnert, daß die Atrophie die regelmäßige Veränderung der Organe im Greisenalter darstellt. Alle Gewebe nehmen in ihm an Umfang ab, die Knochen, die Muskulatur, Gehirn, Herz, Leber, Nieren usw. Darauf beruht die geringe Leistungsfähigkeit der Organe im hohen Alter. Mit dieser senilen Atrophie kann die pathologische in manchen Punkten Uebereinstimmung zeigen.

Das unter pathologischen Bedingungen am häufigsten atrophierende Gewebe ist die Muskulatur bei primären Veränderungen des zentralen Nervensystems. Wenn sie von hier aus nicht mehr innerviert wird, also untätig daliegt, dann atrophiert sie. Die Muskelfasern werden schmaler, die Querstreifung wird undeutlicher und schwindet schließlich ganz. In den höchsten Graden bilden die Fasern nur noch feine Fibrillen, denen man die Herkunft kaum noch ansieht. Daß nebenher die Muskelkerne gern eine Vermehrung erfahren, hat für uns hier keine Bedeutung Während unter diesen Verhältnissen die Muskeln auch makroskopisch immer dünner werden und kaum noch aufgefunden werden können, gibt es andere Fälle, in denen mit dem Schwunde der Fasern sich zwischen ihnen ein oft sehr reichliches Fettgewebe entwickelt, so daß am Lebenden betrachtet die äußere Form des Muskels erhalten bleibt, ja manchmal mehr als sonst entwickelt erscheint.

Aehnliche Muskelatrophien wie bei Lähmungen kommen auch bei langdauerndem Nichtgebrauch der Extremitäten (bei Gelenkerkrankungen usw.) zur Beobachtung. Außer den Muskeln atrophieren aber in allen Fällen auch die Knochen, deren Markräume weiter werden, während zugleich auch von außen eine Einschmelzung der Knochensubstanz stattfindet. Dadurch werden die Knochen wie im hohen Alter weniger widerstandsfähig, funktionell weniger brauchbar und brechen leicht.

Unter den drüsigen Organen ist auch eines, das durch Verhinderung seiner Funktion atrophisch wird, das ist der Hoden. Wenn seine Ausführungsgänge verlegt sind und dann wegen Ueberfüllung der Kanäle neue Samenfäden nicht mehr gebildet werden können, dann stellt das Epithel seine Tätigkeit ein und nimmt statt seines komplizierten normalen Baues die Beschaffenheit eines einschichtigen Zellbelages an.

Außer diesen Atrophien gibt es auch an den inneren Organen solche, die bei langdauernden schweren Erkrankungen durch Unterernährung hervorgerufen werden, aber in dem gesamten Krankheitsbilde allerdings nicht viel bedeuten. Wichtiger sind wieder die Druckatrophien, die Folgen mechanischer Kompression der Gewebe, durch die vor allem die funktionellen Elemente leiden und mehr und mehr schwinden. So sehen wir es bei der Leber durch die Einwirkung des Schnürens. Viel ernster aber sind die Druckatrophien, die durch Behinderung des Harnabflusses an den Nieren eintreten. Hier wird das Nierenbecken sehr stark erweitert und die Nierensubstanz zusammengedrückt. In ähnlicher Weise atrophiert das Gehirn, wenn sich in seinen Höhlen zunehmend Flüssigkeit anhäuft.

7d) Rückbildung. Aber es gibt noch andere Formen von Funktionsstörung wichtiger drüsiger Organe. Wenn in ihnen, z. B.

Digitized by Google

in den Nieren, den Speicheldrüsen, dem Hoden Entzündungen Platz gegriffen haben, die in später zu besprechender Weise zu der Zunahme eines dichteren, funktionell weniger brauchbaren Bindegewebes führten, dann wird das charakteristische sezernierende Epithel, das sich nun auf einem völlig geänderten, ihm für seine Tätigkeit nicht mehr genügenden Boden befindet, durch ein einfacheres ersetzt, wie es sich ähnlich sonst nur in den Ausführungsgängen findet und keine besondere Funktion besitzt. Damit ist dann das Organ oder oft nur ein kleinerer oder größerer Teil bedeutungslos geworden. Wir nennen diesen Vorgang der Epithelveränderung Rückbildung.

7e) Hypoplasie. Eine funktionelle Minderwertigkeit von Organen kann weiterhin auch durch eine mangelhafte Entwickelung bedingt sein. Wir reden dann von einer Hypoplasie, die bald diesen, bald jenen Körperteil treffen kann. Das Organ kann abnorm klein sein, es kann aber bei paarigen Organen das eine ganz fehlen (Aplasie). Das kommt z. B. gelegentlich bei der Niere vor. Daß ein ganzes Organsystem völlig fehlt, ist selten und mit dem Leben oft nicht vereinbar. Es kann aber z. B. die Schilddrüse gar nicht angelegt sein, ohne daß deshalb das Individuum von vornherein lebensunfähig wäre. Erhebliche Hypoplasien finden sich manchmal an den Genitalien (Ovarien, Uterus, Hoden) und an der Schilddrüse.

Zu einer Verminderung der funktionellen Leistungen führen schließlich auch zahlreiche Mißbildungen, so die angeborenen Herzfehler, die sogenannten Cystennieren, die Anomalien der Genitalien, zahlreiche Entwicklungsstörungen des Gehirns usw. Es ist selbstverständlich, daß die mißbildeten Organe weniger leisten als die normalen.

8. Folgen der Veränderungen eines Organes für den übrigen Körper. Korrelationen der Organe. Damit haben wir nun die wichtigsten Veränderungen der Gewebe kennen gelernt, die als Grundlagen für die Entstehung von Krankheitserscheinungen in Betracht kommen können. Bei allen, bei der Nekrose, der Degeneration, der Atrophie, der Rückbildung, der Hypoplasie, handelt es sich um eine Verminderung der Funktion, die vom Körper nicht ertragen werden kann. In dieser Abnahme oder in diesem Aufhören der Funktion infolge der regressiven Veränderungen sind aber die Grundbedingungen aller Krankheiten gegeben. Dagegen könnte man freilich einwenden, daß doch auch so ausgesprochen progressive Vorgänge wie die Entzündung und die Geschwulstbildung Krankheiten erzeugten. Wir werden aber später sehen, daß diese beiden Prozesse selbst nicht oder nur auf indirektem Wege Krankheitserscheinungen hervorrufen, daß auch bei ihnen Funktionsstörungen allein maßgebend sind. Hier sollen zunächst die Folgen der Abnahme der Organtätigkeit weiter erörtert werden.

Wenn ein Organ mangelhaft funktioniert, so muß der Körper im ganzen darunter leiden. Aber nicht alle seine Teile werden in gleicher Weise getroffen, einzelne stehen immer im Vordergrund. So ist von der veränderten Niere das Herz in ausgesprochener Weise abhängig. Bei der sogenannten Schrumpfniere nimmt es an Größe erheblich zu und zeigt schließlich degenerative Prozesse. Das veränderte Herz andererseits beteiligt in weiterem Umfange die verschiedensten Organe, wenn es zu wenig arbeitet und dadurch den Abfluß des venösen Blutes aus den Körperteilen hindert oder sie andererseits nur unzureichend mit Blut versorgt. Erkrankungen der Lungen führen zu mangelhafter Aufnahme des Sauerstoffs und damit zu ungenügender Oxydation in den Geweben, Anomalien des Gehirns zu den schon erwähnten Lähmungen usw. So hängen die einen Organe von den anderen ab. Das kann ja nichts anderes sein. Denn der Organismus ist ein geschlossenes System, in dem kein Teil entbehrt werden kann, ohne daß irgendwelche Störungen entstehen. Man hat aber neuerdings auf besondere Beziehungen bestimmter Organe hauptsächlich sein Augenmerk gerichtet. Es handelt sich vorwiegend um solche, deren Funktion erst in neuerer Zeit in ein helleres Licht gerückt, wenn auch noch keineswegs ausreichend gekannt ist, also um die Nebennieren, die Thymus, die Schilddrüse, die Epithelkörperchen, die Hypophysis. Und mit ihnen im Zusammenhang betrachtet man auch die Keimdrüsen. Man spricht von einer Korrelation dieser Organe untereinander.

Da diese Organe wie alle anderen eine bestimmte Funktion haben, so muß die Verminderung ihrer Tätigkeit nachteilige Folgen mit sich bringen. Wenn also die Nebenniere die Aufgabe hat, den Blutdruck auf der Höhe zu erhalten, so muß ihre Zerstörung den Blutdruck sinken lassen, wenn die Schilddrüse unter normalen Verhältnissen schädliche Stoffwechselprodukte neutralisiert, so muß bei Fortfall dieser Funktion eine Vergiftung eintreten, oder wenn sie für gewöhnlich Stoffe liefert, die in irgendeiner Weise für den Organismus notwendig sind, dann muß das Fehlen dieser Leistung Schaden bringen. Wenn ferner die Schilddrüse für die normale Entwickelung des Knochensystems von Bedeutung ist, dann wird, wenn sie nicht funktioniert, das Skelett des wachsenden Individuums Anomalien aufweisen,

Digitized by Google

und wenn die Epithelkörperchen auf die Kalkablagerung in den Knochen Einfluß haben, dann muß ihre Entfernung eine mangelhafte Verkalkung herbeiführen. Wenn die Hoden für die Ausbildung der sekundären Geschlechtscharaktere unentbehrlich sind, dann muß die Kastration in der Jugend diese Charaktere hintanhalten. Und so muß natürlich auch die Schädigung oder die Beseitigung der Hypophysis und der Thymus ungünstige Folgen haben. Aber alle diese Organe können sich auch gegenseitig beeinträchtigen. Bei Fortfall der Keimdrüsen wird die Schilddrüse kleiner, in der Schwangerschaft schwillt sie ebenso wie die Hypophysis an. In einem noch nicht aufgeklärten Zusammenhang scheinen auch Schilddrüse und Thymus zu stehen. Bei gewissen Formen der Schilddrüsenvergrößerung (bei Basedowscher Krankheit) ist auch die Thymus häufig ungewöhnlich umfangreich.

Diese Größenzunahme der Organe gibt uns Veranlassung, auf eine Frage einzugehen, die sich gerade an der Hand der zuletzt genannten Organe besonders gut diskutieren läßt. Wenn nämlich unsere ganze bisherige Darstellung darauf hinauslief, zu zeigen, daß dem krankhaften Prozesse stets eine Funktionsverminderung der Organe zugrunde liegt, so könnte man nun fragen, ob denn nicht auch mit der eben erwähnten und irgendeiner anderen Volumenzunahme der Organe eine Steigerung der Tätigkeit verbunden sei und ob nun nicht davon Krankheiten abhängig sein könnten. Man weist z. B. darauf hin, daß eine Erhöhung der Nebennierentätigkeit den Blutdruck steigern müsse, daß eine Vergrößerung der Schilddrüse in gewissen Formen den Morbus Basedowii hervorriefe, daß daran vielleicht auch die Hypertrophie der Thymus mit beteiligt sei, daß die Vergrößerung der Hypophysis die Erscheinungen der Akromegalie bedinge. Da sieht es denn in der Tat so aus, als bewirke eine gesteigerte Funktion Krankheitserscheinungen. Demgegenüber ist folgendes zu bedenken. Zunächst einmal muß zugegeben werden, daß eine dauernd gesteigerte Funktion nachteilig werden kann, so z. B. dadurch, daß, wie bei der Schilddrüse, die Produkte der Organe in größerer Menge in den Körper gelangen, als notwendig ist. Die überschüssige Quantität kann dann ungünstig wirken. Das geht z. B. daraus hervor, daß künstlich in den Kreislauf eingeführte Nebennierensubstanz, das Adrenalin, Gefäßveränderungen mit sich bringt. Eine übermäßige Funktion kann aber auf der anderen Seite auch zu einer Erlahmung führen und so zu einem schädlichen Nachlassen der Funktion.

Aber wann und wie würde nun eine gesteigerte Organtätigkeit krankmachend wirken? Sie wird es erst dann tun, wenn sie zu einer Verminderung der Funktion anderer Teile führt. Die Blutdrucksteigerung hat Störungen im Bau und damit in der Tätigkeit der Gefäße zur Folge. Die angenommene vermehrte Schilddrüsenfunktion schädigt das Nervensystem und dadurch tritt erst eine Krankheit zutage, die ebenso vorausgesetzte Zunahme der Sekretion der Hypophysis führt erst zu Krankheit, wenn andere Organe sekundär geschädigt sind. Die Krankheiten sind also auch in allen diesen Fällen immer der Ausdruck einer Verminderung der Tätigkeit lädierter Organe.

In diesem Zusammenhange kommt also die Funktionssteigerung unter Umständen als ätiologischer Faktor in Betracht. Wie eine von außen in den Körper eindringende Schädlichkeit, so kann auch durch den aus einer übermäßigen Tätigkeit entspringenden Nachteil eine pathologische Veränderung dieses oder jenes Organes herbeigeführt werden. Das alles ist wenigstens nach theoretischen Gesichtspunkten möglich. Aber gibt es denn nun solche krankmachenden primären Funktionssteigerungen der Organe? Das läßt sich in keiner Weise sicher begründen. Man spricht zwar viel von einer Erhöhung der Adrenalinbildung in der Nebenniere. Aber sie wird doch im allgemeinen nur als sekundärer Vorgang, abhängig z. B. von einer Nierenveränderung (Schrumpfniere), aufgefaßt, und auch da ist sie keineswegs sichergestellt. Aber als primärer Prozeß in einem bis dahin gesunden Körper kommt sie gewiß nicht vor.

Man führt ferner die Basedowsche Krankheit gern auf eine übermäßige Funktion der Schilddrüse, auf eine Hyperthyreosis, zurück. Aber auch das schwebt in der Luft. Es ist viel wahrscheinlicher, daß es sich um eine abnorme Tätigkeit des Organes handelt, die als solche vielleicht in der vergrößerten Schilddrüse intensiver vor sich geht, als sie es in einer normalen tun würde. Für diese Auffassung der „Dysthyreosis“ spricht der mikroskopische Bau des Organes. Es wird nämlich in ihm sehr viel weniger Kolloid, also viel weniger von dem normalen Sekret, erzeugt, als es sonst der Fall ist. Manchmal fehlt die Kolloidbildung ganz. Aehnlich mögen die Verhältnisse auch bei der Hypophysis liegen. Sie vergrößert sich zuweilen im Sinne der Bildung eines Tumors und ist dann mit der schon erwähnten Akromegalie verbunden, also mit einem Zustande, der mit Vergrößerung der Finger, Zehen, der Nase usw. einhergeht. Und nun denkt man sich, daß das vergrößerte Organ durch Bildung reichlicherer Sekretionspro-

Digitized by Google

dukte seiner spezifischen Zellen auf den übrigen Körper wirke. Auch hier kann man eine gesteigerte Funktion zugeben, aber es braucht durchaus nicht eine vermehrte normale Funktion zu sein, es kann auch sehr wohl, und das ist viel wahrscheinlicher, eine abnorme Tätigkeit vorliegen. Dafür spricht vor allem der Umstand, daß die Volumenzunahme nicht eine gleichmäßige Vermehrung der Bestandteile bedeutet, sondern die Bildung einer echten Geschwulst. In diesen Neubildungen entspricht aber niemals eine Funktion völlig den normalen Verhältnissen.

Noch viel weniger aber als bei diesen drei Organen kennen wir bei irgendeinem anderen eine primäre dauernde Steigerung der Funktionen. Und wenn sie wirklich irgendwo vorkäme, dann würde sich, um es nochmals zu sagen, Krankheit erst einstellen, wenn sekundär andere Teile funktionell beeinträchtigt wären.

Wir fassen die letzten Erörterungen nun noch einmal zusammen, dahin, daß von den primär veränderten Organen nachteilige Einwirkungen auf andere, unter Umständen auf den ganzen Körper, ausgehen. In vielen Fällen entstehen erst dadurch schwerere Krankheitserscheinungen, dann nämlich, wenn die besonders lebenswichtigen Organe, in erster Linie das Herz und das Gehirn, in Mitleidenschaft gezogen werden. Infektionskrankheiten töten vor allem durch Erlahmung des Herzens, die Schrumpfniere durch Einwirkung auf Herz und Gehirn, Lungenveränderungen durch Ueberlastung des rechten Herzens usw. Wenn freilich die Schädlichkeiten von vorneherein in dem Herzen und an dem Zentralnervensystem angreifen, dann sind die sekundären Schädigungen anderer Organe von geringerer Wichtigkeit, dann genügen die primären Veränderungen, um Krankheitserscheinungen hervorzurufen.

Auf welchem Wege wirkt nun ein Organ auf das andere? Es kommen zunächst einmal mechanische Bedingungen in Betracht. So der Druck eines vergrößerten Teiles auf die Umgebung (etwa der Druck einer Gehirngeschwulst auf die Gehirnsubstanz). So aber vor allem auch Behinderung des Abflusses des Blutes aus den Venen bei Herzkrankheiten. Dann wird das Venensystem überfüllt, das angehäufte Blut drückt auf die Organbestandteile und bringt sie zur Atrophie. So ferner durch Verstopfung von arteriellen Gefäßen, wenn z. B. ein Thrombus von einer Herzklappenentzündung oder ein in den Herzhöhlen gebildeter in die Arterien hineingeschleudert wird und dann den Zufluß des Blutes zu einem Organ vermindert oder aufhebt.

Auch durch Vermittelung des Nervensystems kann ein Organ auf die anderen wirken. So treten die schon erwähnten Lähmungen bei Veränderungen im Nervensystem dadurch ein, daß den Muskeln kein Reiz mehr zugeführt wird; so wirken andere Veränderungen des Gehirns oder Rückenmarkes durch Vermittelung der Nerven krampferzeugend, so veranlassen Schädigungen des Vagus Störungen der Herzkontraktionen und der Atmung usw.

9. Chemische Veränderungen im Körper. Wichtiger aber noch als die mechanischen Bedingungen und die des Nervensystems ist die Wirkung auf c h e m i s c h e m Wege. Der abnorme Stoffwechsel der veränderten Organe bringt Substanzen ins Blut und die Lymphe, die sonst nicht darin sind. Wenn ein Organ seine Sekrete nicht wieder entleeren kann, wie z. B. die Leber bei Verlegung der Gallengänge, dann treten diese Produkte, also etwa die Galle, in das Blut über, oder wenn ein anderes Organ, die Niere, nicht imstande ist, die irgendwoher stammenden Stoffwechselprodukte auszuscheiden, dann bleiben diese im Körper zurück und wirken wie Gifte. In neuerer Zeit ist man besonders auf die sogenannten inneren Sekrete aufmerksam geworden, die nicht nach außen entleert werden, sondern in den Organismus gelangen, um entweder auf den Stoffwechsel oder auf andere Organe funktionell Einfluß auszuüben. Es sind das vor allem die Sekrete der Nebenniere, der Schilddrüse, der Epithelkörper, der Hypophysis, der Keimdrüsen, also der Organe, von denen schon eingehender die Rede war, aber auch die des Pankreas, die den Zuckerumsatz regeln, der Magen- und Darmwand, die an der Bewegung des Darmes Anteil haben. Von der fraglichen Vermehrung dieser inneren Sekretion sprachen wir schon. Es handelt sich fast ausnahmslos um eine Verminderung oder Modifikation durch Veränderungen der sezernierenden Gewebe.

Durch alle diese abnormen chemischen Vorgänge werden nun sekundär bald diese, bald jene Organe getroffen und verändert. So wirken die bei der Schrumpfniere im Blute verbleibenden Stoffe auf Herz und Gehirn und bewirken die an letzterem mit Bewußtlosigkeit und Krämpfen sich äußernde Vergiftung, die wir Urämie nennen. Und auch die Produkte des vom Pankreas abhängigen Diabetes schädigen das Gehirn im Sinne des diabetischen Coma. Diese Beispiele mögen genügen.

Es ist nun selbstverständlich für den Pathologen von größtem Interesse, die chemischen Veränderungen im kranken Körper kennen zu lernen. Damit beschäftigt sich die pathologische Chemie, die seit Jahren mit großem Erfolg arbeitet. Sie hat uns über die bei den einzelnen Krankheiten

Digitized by Google

vorhandenen abnormen oder in ihrer Menge veränderten Substanzen, über ihre Entstehung aus den Bestandteilen der Nahrung oder aus denen des Körpers, über ihren Abbau, über ihre gegenseitigen Beziehungen und über den Ort ihrer Bildung die wichtigsten Aufschlüsse gebracht.

Aber bei der Abschätzung der Bedeutung der pathologischen Chemie muß man immer daran denken, daß es keine selbständigen chemischen Affektionen geben kann. Es kann keinen chemischen Vorgang geben, der als solcher längere Zeit oder dauernd selbständig bestehen bleibt. Ein chemischer Prozeß ist immer abhängig von der Beschaffenheit der Gewebe, die eben die Aenderung der Zusammensetzung herbeiführen. Er selbst läuft ab und verschwindet, sobald die Bedingungen erschöpft sind, die in den Zellen liegen. Wir können wohl dadurch, daß wir irgendeine Substanz in den Körper bringen, Umsetzungen in ihm hervorrufen, die wir uns von den Zellen unabhängig denken können, aber wenn die Substanz ihrer Menge entsprechend gewirkt hat, dann ist der chemische Prozeß beendet. Nur wenn Zellen immer neue chemisch wirksame Stoffe liefern, kann eine Umsetzung lange Zeit oder das ganze Leben über dauern. Es gibt also keine „Diathesen", wenn man darunter verstehen wollte, daß eine chemische Anomalie selbständig und nicht von Zellen abhängig wäre. Die letzteren sind mit Bezug auf einen chemischen Prozeß immer das Primäre. Daher kann die Kenntnis chemischer Veränderungen uns wohl auf das Organ führen, in dem ihre Quelle zu suchen ist, sie kann uns aber nicht aufklären über das, was dem Krankheitsvorgang zugrunde liegt, über die primäre Schädigung der Zelle.

Und an diesen Folgerungen wird auch nichts geändert, wenn man Enzyme, Fermente zu Hilfe nehmen wollte. Denn auch diese sind nicht selbständige, für sich existierende und sich unabhängig vermehrende Substanzen, auch sie sind vielmehr in ihrer Entstehung gebunden an Zellen. Also sind die Aenderungen, die der Chemiker nachweist, stets herbeigeführt durch primäre Schädigungen der Gewebe.

9a) Amyloid. Eine besonders auffällige chemische Anomalie mit ihren Folgen müssen wir nun für sich besprechen. Wenn in langdauernden eiterigen Prozessen, zumal bei Tuberkulose, aber auch bei Syphilis und seltener bei anderen Aetiologien, immer wieder Gewebe und Zellen untergehen und eingeschmolzen und teils nach außen entleert, teils resorbiert werden, so entstehen aus den Eiweißkörpern der Gewebe solche, die eine veränderte Zusammensetzung aufweisen, die in einem inneren Umbau oder Abbau begriffen sind, aber nicht bis zu Ende umgesetzt werden. Sie bleiben als solche bestehen und häufen sich in manchen Organen in so großer Menge an, daß diese darunter erheblich leiden und in großer Ausdehnung vernichtet werden. Es ist den Organzellen nicht möglich, diese Körper zu verarbeiten, die demnach liegen bleiben müssen, und zwar außerhalb der Zellen, die auch nicht fähig sind, sie aufzunehmen. Sie können in allen Organen zur Abscheidung gelangen, doch sind manche in hohem Maße bevorzugt, während andere nur Spuren aufweisen oder auch ganz frei sind. Die am meisten in Betracht kommenden sind Leber, Milz, Niere, Darm, Nebenniere, Lymphdrüsen. Da die Eiweißkörper mit dem Blutstrom aus den primären eiterigen Entzündungsherden in die Organe gebracht und hier ausgeschieden werden, so bleiben sie gern an der Außenseite der Blutgefäße, besonders der Kapillaren, bei den größeren Gefäßen auch in deren Wand liegen und bilden im ersteren Falle dicke Hüllen um die Gefäße. Dadurch wird der Raum für das Organgewebe eingeengt und die Organzellen gehen vielfach zugrunde, ganz besonders ausgedehnt in der Leber. Aber die Eiweißkörper können auch in den Gewebssäften noch weiter in die Organe hineingelangen und sich auf den Bestandteilen des stützenden Bindegewebes niederschlagen.

Diese Eiweißsubstanzen haben in den kompakten Massen, in denen wir sie antreffen, eine homogene, glasig durchscheinende Beschaffenheit und diese macht sich sowohl mikroskopisch wie für das bloße Auge geltend. Bei letzterem erscheint z. B. die mit den Eiweißmassen versehene und deshalb große und feste Leber auf dem Durchschnitt glänzend, transparent, etwa wie die Schnittfläche von Speck oder klarem farblosem Wachs. Daher reden wir von Speck- oder Wachsleber. Die anderen Organe sind ähnlich verändert. Wir nennen den Eiweißkörper nach Virchow, der ihn zuerst beschrieb, Amyloid, weil es zunächst schien, als handelte es sich um eine dem Amylum ähnliche Substanz. Denn Virchow sah, daß sie sich, mit Jod und Schwefelsäure behandelt, blau färbte, also analog wie das Amylum durch Jod allein. Später stellte sich aber heraus, daß es ein Eiweißkörper ist.

Da das Amyloid durch seine Masse die Organe schädigt, die Zellen durch Druck zur Atrophie bringt, so reden wir von einer amyloiden Entartung. Sie ist das ausgezeichnetste Beispiel für die von chemischen Bedingungen abhängige sekundäre Schädigung von Organen und wurde deshalb etwas ausführlicher besprochen.

9b) Hyalin. Wir kennen aber auch noch andere dem Amyloid anzureihende Ab-

Digitized by Google

lagerungen von Eiweißkörpern, die aber von geringerer Ausdehnung sind. Im Bindegewebe, zumal auch der Gefäßwände, kommen manchmal homogene Eiweißstoffe zur Ablagerung, die ein dem Amyloid ähnliches Aussehen haben, aber sich von ihm durch ein anderes Verhalten gegenüber bestimmten Färbungen unterscheiden. Wir geben ihnen die Bezeichnung Hyalin. Es handelt sich bei ihnen aber nicht darum, daß Eiweißkörper aus primären Krankheitsherden an anderen Orten niedergeschlagen werden, sondern darum, daß an Ort und Stelle diejenigen Eiweißstoffe, die in der Norm verbraucht werden, aus irgendeinem Grunde nicht mehr verarbeitet werden können und deshalb liegen bleiben müssen. Auch bei dem Amyloid kennen wir etwas Aehnliches. An umschriebenen Stellen kann aus lokalen Gründen ein unvollkommener Abbau des Eiweißes eintreten und das daraus entstehende Produkt kann als Amyloid liegen bleiben. Das Hyalin tritt meist nur in kleineren Gebieten auf, ist aber in dieser Form nicht selten. Wir verweisen hier nur darauf, daß bei der Arteriosklerose in jenen Verdickungen der Aortenintima neben der fettigen Entartung eine hyaline Infiltration des Bindegewebes eintritt und daß auch dadurch zum Teil die Volumenzunahme der Beete bedingt ist.

9c) Gicht. Von anderen Stoffen, die mit dem Blute den Geweben zugeführt und in ihnen abgeschieden werden, nennen wir nur noch die Harnsäure und die harnsauren Salze bei der Gicht. Sie fallen in Gestalt einer kreideähnlichen weißen Masse in den Weichteilen der Gelenke aus und erzeugen im Verein mit Entzündungen, die ihre Gegenwart hervorruft, die Gichtanfälle und die gichtischen Auftreibungen der Gelenke.

Hier, bei der Gicht, könnte man nun aber fragen, wo denn das primär veränderte Organ sei und darauf müßte man eine sichere Antwort schuldig bleiben. Die Stoffwechselabnormitäten, die zur Bildung der überschüssigen Harnsäure führen, sind, soviel wir wissen, nicht an ein bestimmtes Organ gebunden und so könnte man bei diesem Prozeß und bei einigen anderen, bei denen auch ein charakteristisch lädiertes Organ fehlt, an die vorhin zurückgewiesene reine Stoffwechselstörung, an eine Diathese denken. Aber es muß daran festgehalten werden, daß auch bei der Gicht (und anderen Krankheiten) eine Anomalie im Verhalten irgendwelcher Zellen zugrunde liegt. Nur sie können die Abnormitäten des Stoffwechsels herbeiführen, eine selbständige Störung im Umbau der Stoffe kann es, wie gesagt, nicht geben.

10. Die einzelnen Krankheiten beruhen alle auf einer Abnahme der Funktion bald dieser, bald jener Organe. So haben uns also die Erörterungen über die Bedeutung der primär veränderten Organe gelehrt, daß sie die Tätigkeit der übrigen Körperteile auf wechselnden Wegen und in sehr verschiedener Auswahl beeinträchtigen. Aber immer wieder und ganz ausschließlich handelt es sich darum, daß die Funktion der primär oder der sekundär ergriffenen Organe vermindert oder aufgehoben wird. Wenn es wirklich ausnahmsweise eine primäre Funktionssteigerung der Teile gibt, so wirkt sie doch dann erst krankheitserzeugend, wenn sie zu einer sekundären Schädigung anderer Teile geführt hat. Krankheit ist also unter allen Umständen die Summe der herabgesetzten (oder aufgehobenen) Funktionen.

Das soll nun an einer Reihe der wichtigsten Krankheiten noch besonders gezeigt werden. Aber vorher müssen wir darauf hinweisen, daß wir von gewissen komplizierten abnormen Lebensvorgängen noch nicht gesprochen haben, die im Bilde der Krankheiten eine außerordentliche Rolle spielen. Ich meine die Entzündungen. Von ihnen, oder besser gesagt, von den Bedingungen, die sie zur Folge haben, sind die schwersten Schädigungen der Organe abhängig und da Entzündungen bei den meisten Krankheiten in Betracht kommen, so ist gerade die mit ihnen verbundene Funktionsverminderung ganz besonders häufig. Wir begnügen uns hier mit diesem Hinweis auf die Entzündung, kommen aber später ausführlich darauf zurück.

11. Uebersicht über die wichtigsten Krankheiten. Beginnen wir nun die Uebersicht über die Krankheiten ohne bestimmten Grund mit denen des Gefäßsystems, so führen alle Veränderungen des Herzens, wie sie auch heißen mögen, zu einer Herabsetzung seiner Tätigkeit und wenn sich manchmal, wie wir sehen werden, eine Verstärkung seiner Muskulatur und ihrer Arbeit einstellt, so ist das stets sekundär und nur im Anschluß an eine primäre funktionelle Schädigung der Fall. Und wie Veränderungen des Herzens den Kreislauf beeinträchtigen, so tun es auch alle Abnormitäten der Gefäße. Es gibt an beiden Stellen keine Krankheitserscheinung, die auf einer Steigerung der Funktion beruhte. Jene Verstärkung der Herzwand verbessert den krankhaften Zustand, steigert ihn aber nicht.

Auch jede Veränderung der Lungen hemmt deren Funktion, die Respiration. Die Tuberkulose zerstört wechselnde Mengen des Lungengewebes, die verschiedenen Formen der Lungenentzündungen setzen die ergriffenen Gebiete der Organe außer Tätigkeit, das sogenannte Lungenemphysem vermindert den Luftwechsel und vernichtet

Digitized by Google

große Mengen von Blutgefäßen, so daß die Respirationsfläche eine erhebliche Einbuße erfährt.

Weiterhin setzen alle pathologischen Zustände des ganzen Darmkanals die Nahrungsaufnahme herab, es gibt unter ihnen keinen, der sie erhöhte. Mundaffektionen erschweren die Einverleibung der Nahrung, solche der Speiseröhre hemmen das Herunterschlucken. Alle Veränderungen des Magens setzen dessen verdauende Tätigkeit herab, und die vielfachen abnormen Prozesse des Darmes, die Tuberkulose, der Typhus, die Dysenterie, die Geschwülste, schränken die Resorption der Nahrung ein. Störungen in der Tätigkeit der Leber vermindern die Bildung der Galle oder wenigstens ihre Zufuhr zum Darm. Ganz besonders wirken so die Verlegungen der Ausführungsgänge. Dann leidet die Umwandlung der Nährstoffe, soweit sie von der Galle abhängt. Kann aber die Galle, vor allem wegen Verschluß der Gänge durch Gallensteine oder durch Geschwülste (Karzinom) nicht abfließen, dann tritt sie in das Blut über und es entsteht Ikterus, Gelbsucht, die ihrerseits wieder andere Organe, besonders Niere und Herz, zur Degeneration bringt. Wird aber die Leber (bei der Zirrhose) durch Gifte ausgedehnt zerstört und wächst dann in ihr schrumpfendes Bindegewebe, dann wird einerseits der Anteil, den das Organ am Stoffwechsel hat, geringer, oder er wird ganz beseitigt, und andererseits treten Kreislaufstörungen ein. Auch Veränderungen des Pankreas wirken funktionsvermindernd. Es entsteht dann in vielen Fällen der Diabetes, der in einem mangelhaften Umbau der Kohlehydrate seinen Ausdruck findet, in anderen eine Störung in der Fettverdauung. Alle Abweichungen im Bau der nervösen Organe beeinträchtigen deren Tätigkeit. Blutungen in das Gehirn und plötzliche Gefäßverschlüsse führen zu Schlaganfällen oder, wenn der Tod nicht eintritt, zu Lähmungen und Schädigungen der psychischen Funktionen. Aehnlich, nur allmählich, wirken auch Geschwülste. Meist nur mikroskopisch nachweisbare Veränderungen schränken die geistige Leistungsfähigkeit ein und bewirken Geisteskrankheiten. Entzündungen der Gehirnhäute erzeugen Verminderungen der psychischen Leistungen, Aufhebung des Bewußtseins und Krampfanfälle, die auch bei umschriebenen Veränderungen der Gehirnrinde eintreten können. Man darf in ihnen nicht etwa eine Funktionssteigerung sehen wollen. Denn sie sind sekundärer Natur, also abhängig von Funktionsverminderungen. Außerdem bedeuten sie ja keine typische Leistung und insofern selbstverständlich eine Unterwertigkeit. Die abnormen Zustände des Rückenmarkes bewirken analoge Folgen und jede Aenderung im Verhalten der Nerven setzt deren Leistungsfähigkeit herab.

Jede anatomische Störung der Geschlechtsorgane vermindert deren Funktion. Es ist nicht nötig, das im einzelnen auszuführen. Nicht anders aber ist es bei den Bewegungsorganen. Mag das Knochensystem oder mag die Muskulatur verändert sein, stets muß die Bewegung eine Einschränkung erfahren. Denken wir nur an die Rachitis, die Knochenerweichung, die mannigfachen tuberkulösen und andersartigen Entzündungen, die Knochenbrüche, die oben besprochenen Muskelatrophien usw. Weiterhin sind auch alle nicht an bestimmte Organe gebundene Erkrankungen von einer Beeinträchtigung bald dieser, bald jener Funktion begleitet. Bei der Gicht wird der Stoffwechsel in bestimmten Teilen herabgesetzt oder verändert, bei der Fettleibigkeit besteht eine Anomalie in der Verarbeitung des Fettes und im Bau des Fettgewebes und dadurch auch eine Schädigung der Funktionen des ganzen Körpers. Die vielfachen Entzündungen aber, die aus den mannigfaltigsten Veranlassungen entstehen (Bauchfellentzündungen, die z. B. vom Wurmfortsatz ausgehen, Wundinfektionen usw.) bewirken teils lokale Leistungsherabsetzung der Organe, teils durch Aufnahme von Giften in den Körper Schädigungen innerer Organe, besonders des Herzens.

Endlich führt auch die Entwickelung von Geschwülsten zu einer Funktionsbehinderung aller der Organe, in denen sie vorkommen.

Diese kurze Uebersicht genügt. Was in ihr nicht genannt wurde, läßt sich leicht in demselben Sinne beurteilen. Alle Veränderungen der Körperteile führen zu primären und sekundären Funktionsbeeinträchtigungen der Organe und nur auf diesem Wege zu dem, was wir eine Krankheit nennen.

12. Die Bedeutung der progressiven Vorgänge im Krankheitsbilde. Aber nun haben wir eine große Reihe von Vorgängen im kranken Körper nur nebenher erwähnt, die den Anschein erwecken könnten, als ließen sie sich mit den bisherigen Erörterungen über die Krankheit nicht vereinigen. Es sind das alle jene Prozesse, die in gesteigerten Lebenserscheinungen, vor allem in Zellvermehrungen ihren Ausdruck finden. Mit ihnen müssen wir uns nun noch eingehend beschäftigen.

Da gibt es zunächst die Neubildungserscheinungen, die einen Ausgleich für verloren gegangenes Gewebe liefern, also für die Heilung der Krankheiten von der größten Bedeutung sind. Daß sie an sich nicht krankheitserzeugend wirken können, ist selbst-

Digitized by Google

verständlich, und insofern gehören alle diese Vorgänge strenggenommen nicht in das Gebiet der Pathologie, wenn wir darunter die Lehre vom Wesen der Krankheiten verstehen. Daher wollen wir uns mit ihnen hier auch nur insoweit beschäftigen, als sie unvollkommen sind und nicht das leisten, was wir von ihnen wünschen möchten. Gerade dadurch aber sind viele von ihnen gekennzeichnet.

12a) Die Regeneration. Fassen wir zunächst die Regeneration ins Auge, so sehen wir zwar, daß die einfacheren Gewebe, Oberflächenepithelien, Bindegewebe, Knochen sehr leicht und befriedigend ersetzt werden, daß es aber gerade bei den funktionell wichtigsten Geweben schlecht bestellt ist. Für verlorenes Lungengewebe bildet sich niemals neues, ebensowenig für untergegangene Herzmuskulatur. Lebergewebe wird nicht oder doch nicht ausreichend regeneriert und ebenso oder noch weniger ausreichend verhält sich die Substanz der Niere. Pankreas und Speicheldrüsen zeigen zwar lebhafte Wucherung, aber es wird kein funktionell brauchbares Gewebe erzeugt. Nur die Schilddrüse wird leicht wieder ersetzt. Ganz besonders mangelhaft ist die Regeneration des Gehirns und des Rückenmarkes. Für untergegangene Ganglienzellen stellen sich keine neuen ein und Nervenfasern werden nicht in brauchbarem funktionellen Zusammenhange neu gebildet. Nur die Glia, also das Stützgewebe, gerät in lebhafte Proliferation, aber sie kann natürlich den Verlust nicht ausgleichen. Defekte der funktionellen Elemente bleiben also dauernd bestehen, und ein in querer Richtung zerstörtes Rückenmark gewinnt seine Leistungsfähigkeit niemals wieder. Dagegen wird ein quer durchschnittener Nerv durch Auswachsen der zentralen Nervenenden in den peripheren Abschnitt in seiner Kontinuiät wiederhergestellt. Sehr schlecht regeneriert aber wieder die Skelettmuskulatur, Lücken in ihr wie in der Muskulatur des Herzens werden nur durch Bindegewebe ausgefüllt.

Diese mangelhafte Regenerationsfähigkeit gerade der wichtigsten Gewebe muß sich in allen jenen Fällen als nachteilig erweisen, in denen so viel unterging, daß die übrig bleibenden Teile nicht mehr zur Funktion des Organs ausreichen, oder in denen, wie im Rückenmark, eine Kontinuität dauernd unterbrochen wird, oder in denen das fortgefallene Gewebe einzig in seiner Art ist. Letzteres ist aber nur an wenigen Stellen der Fall, so vor allem in der Rinde des Gehirns, in der die Funktionen mehr oder weniger scharf lokalisiert sind. Fortfall bestimmter Rindenabschnitte hat dauernden Verlust der Sprache oder des Gesichtes, des Gehörs zur Folge. In den meisten Fällen aber hat der mangelhafte Ersatz nicht eine so große, sehr oft gar keine ernste Bedeutung. Denn die übrig bleibenden Teile treten ausreichend für die fehlenden ein.

Das tun sie aber um so besser, je mehr sie dabei an Volumen zuzunehmen vermögen und deshalb funktionstüchtiger werden. Dazu sind viele Organe imstande. So wird die Niere nach Fortfall der anderen, das übrigbleibende Lebergewebe nach größeren Verlusten hypertrophisch. Bleibt diese Massenzunahme z. B. bei der Niere aus, wie es im Alter der Fall sein kann, dann wird die Funktion unzulänglich und das Individuum kann zugrunde gehen.

12b) Die Hypertrophie. Eine lebensverlängernde Hypertrophie stellt sich aber auch bei der Muskulatur ein, wenn infolge pathologischer Prozesse und dadurch bedingter mechanischer Hindernisse höhere Anforderungen an sie gestellt werden. Bei Klappenfehlern wird das Herz größer, seine Wand oft auf das Doppelte verdickt. Geschähe das nicht, so würde der Kranke viel eher sterben. Und im Darmkanal stellt sich eine ähnliche vorteilhafte Hypertrophie ein, wenn das Lumen durch Narben oder Geschwülste verengt ist.

Auch alle die Hypertrophien bedeuten natürlich an sich nichts Krankhaftes, die Steigerung der Funktion, die in ihnen zum Ausdruck kommt, ist dem Individuum nützlich. Aber sie leistet doch durchaus nicht immer das, was zur völligen Befriedigung der Anforderungen nötig wäre und sie versagt schließlich, wenn etwa das Doppelte an Leistung erreicht ist. Und da sie außerdem nicht eigentlich etwas Typisches ist, nicht etwas, was in den normalen Organismus hineingehört, so bleibt sie auch nicht immer ohne Beschwerden. Die Hypertrophie des Herzens wird auch an sich störend empfunden.

Die völlige Heilung pathologischer Veränderungen der Gewebe bleibt also in vielen Fällen aus. Aber dann hat doch die Regeneration und die Hypertrophie an sich keine krankmachende Bedeutung. Nur die Mangelhaftigkeit dieser beiden Vorgänge läßt Störungen zurückbleiben. Minderwertigkeit der Gewebe ist es also auch hier, die zu krankhaften Erscheinungen führt.

12c) Entzündung. Nun kommen wir zu einem besonders wichtigen und umfangreichen Gebiet, in dem progressive Prozesse eine große Rolle spielen, zu der Entzündung. Bei ihr treffen wir die meisten der Vorgänge wieder an, die wir bisher als krankheitserregend kennen lernten, die Nekrose, die Degeneration, die Rückbildung, ja wir finden sie hier ganz besonders häufig.

Digitized by Google

Die Schädlichkeiten nämlich, die zu diesen regressiven Vorgängen Veranlassung geben, begnügen sich bildlich gesprochen sehr oft nicht damit, sie selbst hervorzurufen, sie haben sehr gewöhnlich auch entzündliche Erscheinungen im Gefolge. Was ist nun aber die Entzündung? Um es in einem kurzen Ausdruck zusammenzufassen, mit dem freilich inhaltlich noch nichts Bestimmtes gesagt ist: die Entzündung ist ein komplizierter Reflex. Wie unser Organismus gelegentlich durch eine reflektorische Bewegung einen Angriff abwehrt, so ist auch in der Entzündung ein Abwehrvorgang gegeben. Mit dieser Auffassung ist zugleich auch ein Einwand zurückgewiesen, den man gegen diese Deutung der Entzündung zu erheben pflegt, der nämlich, daß in ihr ein teleologisches Moment enthalten sei. Denn wenn das richtig wäre und wenn man deshalb jene Deutung zurückweisen müßte, dann dürfte man jenen in einer Abwehrbewegung bestehenden Reflex auch nicht mehr als eine Abwehr ansehen.

Gegen was wehrt sich nun der Organismus? Gegen die verschiedenartigsten Schädlichkeiten, die in ihn eindringen und die in ihm alle die Störungen veranlassen, von denen wir gesprochen haben. In erster Linie sind es die Bakterien, von denen weitaus die meisten und wichtigsten Entzündungen hervorgerufen werden. Denn alle Infektionskrankheiten verlaufen mit mehr oder weniger weitgehenden Entzündungen und finden gerade darin neben den regressiven Veränderungen ihren charakteristischen Ausdruck. Sie werden uns also in erster Linie zu beschäftigen haben. Sodann wehrt sich der Körper gegen alle Arten von Fremdkörpern, die in ihn hineingelangen, gegen Nadeln, Holzsplitter, Kugeln usw. Weiterhin wirken auch tote Körperteile, deren Zustandekommen wir kennen lernten, entzündungerregend, die gesunden Gewebe wirken in bestimmter Weise auf sie ein und eben diese Einwirkung nennen wir Entzündung.

Worin bestehen nun aber diese Abwehrmaßregeln? Wir können deren drei Gruppen unterscheiden. Die erste umfaßt eine Reihe von Vorgängen, die sich am Gefäßgebiet abspielen und darin bestehen, daß dem Entzündungsherde Blutbestandteile zugeführt werden, die aus den Gefäßen austreten und die Schädlichkeiten beeinflussen. Die zweite Gruppe ist durch progressive Vorgänge an den Geweben gegeben, in denen die nachteiligen Einwirkungen stattfinden. Die dritte Gruppe ist von den beiden ersten nicht scharf zu trennen. Im allgemeinen ist sie dadurch gekennzeichnet, daß Stoffe, die irgendwo in den Geweben des Körpers gebildet werden und geeignet sind, den Schädlichkeiten entgegenzuwirken, mit dem Blute den Herden zufließen. In letzterer Hinsicht hat also diese Gruppe Beziehungen zu der ersten. Und da jene Stoffe vielleicht zum Teil auch in den entzündeten Geweben gebildet werden, so ist darin auch ein Zusammenhang mit der zweiten Gruppe gegeben.

Wenden wir uns nun zu den an den Gefäßen ablaufenden Prozessen, die stets den Anfang machen und fast sofort nach der ersten Einwirkung der Schädlichkeiten einzusetzen pflegen, so haben wir es zunächst damit zu tun, daß dem in Entzündung geratenden Gebiete mehr Blut als sonst zufließt. Die Teile werden also hyperämisch. Die zuführenden Arterien erweitern sich und durch die angegriffenen Gewebe strömt das Blut reichlicher und schneller. Daher sehen die Bezirke hellrot aus. Denn es handelt sich ja um arterielles Blut. Die Rötung des Auges nach Hineinfliegen eines Fremdkörpers gibt ein gutes Beispiel. Aber bei dieser hellen Rötung bleibt es in den Gebieten nicht, in denen die Schädlichkeiten, besonders Bakterien, intensiv angreifen und regressive Veränderungen mit sich bringen. Hier wird auch die Gefäßwand lädiert, das Lumen erweitert sich übermäßig, der Blutstrom verlangsamt sich, der Sauerstoff wird ganz an die Gewebe abgegeben, das Blut wird venös, die Farbe blaurot. Während sich diese Aenderungen der Zirkulation vollziehen, treten nun an den Kapillaren und kleinen Venen zwei charakteristische Vorgänge ein: einerseits eine Transsudation von Blutflüssigkeit, andererseits eine Auswanderung von Leukocyten. Die Transsudation braucht uns nicht lange zu beschäftigen. Sie bedeutet eine Steigerung des auch in der Norm vor sich gehenden Austritts von Serum und sie ist gesteigert, wenn auch nicht im normalen Sinne, weil die Wand der Gefäße durchlässiger geworden ist. Die Auswanderung der Leukocyten dagegen bedarf etwas längerer Betrachtung. Sie ist ebenfalls in der Norm gegeben, denn auch unter gewöhnlichen Verhältnissen treten einzelne Leukocyten in das Gewebe über. Hier aber ist sie oft außerordentlich ausgedehnt. Die Gefäße sind ringsum mit austretenden Leukocyten besetzt. Bevor sie aber auswandern, sammeln sie sich zunächst im Inneren der Kapillaren und der kleinen Venen an. Die roten Blutkörperchen fließen mit dem Serum weiter, die weißen bleiben zurück. Sie werden durch chemotaktische Einflüsse, die von den Schädlichkeiten, besonders den bakteriellen Toxinen ausgehen, festgehalten, und zwar in solchen Mengen, daß die Kapillaren vielfach ganz mit ihnen ausgefüllt sind. An diesem Zurückbleiben der Leuko-

Digitized by Google

cyten hat die Abnahme der Energie des Blutstromes einigen Anteil, aber seine Verlangsamung darf auch wieder nicht zu weit gehen, weil anderenfalls nicht ausreichend Leukocyten zugeführt werden. Ihre massenhafte Anhäufung bliebe dann unerklärt. Nun erfolgt die Emigration. Die Leukocyten strecken amöboid sich bewegende Fortsätze in und durch die Kapillarwand. Allmählich folgt der Leib nach und während außen das Protoplasma reichlicher wird, nimmt es innen mehr und mehr ab. So liegt schließlich die Zelle im Gewebe. Dieser Durchtritt geht nun aber nicht etwa quer durch den Leib der Kapillarendothelien hindurch, sondern er liegt in den Kittleisten dieser Zellen, die durch das vordringende Protoplasma besonders dort auseinandergedrängt werden, wo mehrere zusammenstoßen. Jeder austretende Leukocyt macht also eine kleine Oeffnung in die Wand, die sich nach dem Durchtritt bald wieder schließt, aber nicht ohne einem feinen Strahl von Serum Gelegenheit zum Ausfluß gegeben zu haben. Bedenkt man nun, daß überall zwischen den Endothelien die Emigration vor sich gehen kann, so begreift man, welche ungeheuren Mengen von Leukocyten bei der Entzündung die Gefäße verlassen. Wo bleiben sie nun, nachdem sie aus den Kapillaren ausgewandert sind? Sie durchsetzen das Gewebe, bewegen sich in ihm, aber nicht ziellos, sondern vorwiegend in der Richtung auf die Entzündungserreger, um die sie sich ansammeln.

Durch den Austritt der Flüssigkeit und der Leukocyten, die wir zusammengenommen als Exsudat bezeichnen, schwillt das entzündete Gewebe oft erheblich an. Schneidet man ein, so quellen beide Bestandteile hervor. Wir gewinnen so eine Flüssigkeit, die um so trüber und dicklicher ist, je mehr Leukocyten ausgewandert sind. In den höchsten Graden setzt sie sich fast nur aus den Zellen zusammen. Dann nennen wir sie Eiter, der also nichts anderes ist als die Gesamtmasse der emigrierten Leukocyten. Er sieht in reinster Form gelbgrün aus und hat eine rahmige Konsistenz. Er kann in ungeheuren Mengen, zuweilen literweise gebildet werden. Dann ist er aber nicht mehr nur in Form einer die Gewebe infiltrierenden, sondern einer in Spalten, Lücken und Höhlen sich ansammelnden Flüssigkeit vorhanden. Das kommt zum kleinen Teil daher, daß die Zellen sich in den normalen Räumen anhäufen und sie durch Verdrängung ausdehnen, zum größeren Teil aber daher, daß die Leukocyten das geschädigte oder auch abgestorbene Gewebe durch Fermente lösen, einschmelzen. Auf diese Weise können umfangreiche Hohlräume entstehen, die zunächst natürlich eine fetzige Wand haben, sich später aber in noch zu besprechender Weise abglätten. Wenn man einen Furunkel öffnet, entleert sich der Eiter aus einer solchen Höhle, in der außer ihm noch nekrotische nicht eingeschmolzene Gewebsfetzen vorhanden zu sein pflegen. Wir nennen die Eiteransammlung in einer Höhle einen Abszeß.

Befindet sich eine Entzündung in den Wandungen von Hohlräumen, dann fließt das Exsudat in sie hinein, so z. B. in die Bauchhöhle, in den Herzbeutel, in die Lufträume der Lunge. So füllt es unter Umständen bei der gewöhnlichen Lungenentzündung die Lufträume einer ganzen Lunge aus und indem dann die Flüssigkeit gerinnt und zu einer festen Masse wird, erscheint dann das Organ fest wie eine Leber.

Woher stammen die gewaltigen Mengen der Leukocyten? Zunächst selbstverständlich aus dem Blut. Aber so viele, wie in zahlreichen Fällen in das Gebiet auswandern, sind im gesamten Blute nicht entfernt vorhanden, und es kommt hinzu, daß sie während der Emigration sich auch im Blute keineswegs vermindern, sondern im Gegenteil an Menge zunehmen. Es entsteht meist eine sogenannte Leukocytose. Die Leukocyten müssen demnach, da sie sich im Blute nicht etwa vermehren, ihm stets aufs neue zugeführt werden. Die Quelle dieser großen Zellmengen ist das gesamte Knochenmark, das ja auch unter normalen Verhältnissen die Bildungsstätte derjenigen Leukocyten, nämlich der granulierten polymorphkernigen ist, die bei der Auswanderung in den meisten Fällen allein in Betracht kommen. In ihm findet also eine außerordentlich lebhafte Neubildung der Zellen statt, bei der ein etwa vorhandenes fettreiches Mark sich in ein rein zelliges Mark umwandeln kann. Aus ihm gehen die Zellen zunächst ins Blut, um mit diesem den Entzündungsherden zugeführt zu werden. An einer einigermaßen intensiven Entzündung beteiligen sich also große Gebiete des Körpers.

In welcher Weise sind nun diese am Gefäßsystem ablaufenden Prozesse an der Abwehr der Schädlichkeiten beteiligt? Die Leukocyten wirken auf die Bakterien durch Phagocytose, dadurch also, daß sie die Organismen in ihr Protoplasma aufnehmen. Wir haben Grund, anzunehmen, daß sie vermittels antibakterieller in ihrem Leibe enthaltener Stoffe die Entwickelung der Bakterien hemmen, in manchen Fällen sie vielleicht töten. Jedenfalls aber wirken sie durch die Phagocytose mechanisch hindernd auf die Verbreitung der Organismen im Gewebe, da sie von allen Seiten in den Herd einströmen und den Bakterien entgegentreten. Sie können freilich ihr Eindringen in den

Digitized by Google

übrigen Körper nicht ganz hindern, aber in der Hauptsache lokalisieren sie die Erreger auf die Nähe der Eintrittspforte, in der Lunge also z. B. auf das Lumen der Lufträume. Wenn aber Eiter sich bildet, so sind die Bakterien in der Hauptsache in ihm enthalten und mit seiner Entleerung werden auch sie entfernt. Die Exsudation begrenzt also, wenn auch nicht immer ausgiebig genug, das Angriffsgebiet der Mikroorganismen. Sie bringt gemeinsam mit den Zellenbildungsprozessen des Knochenmarkes dem Körper Vorteil. Das hat auch Geltung bei den anderen Entzündungserregern. Fremdkörper werden durch Eiterung gelockert und oft wieder ausgestoßen, tote Teile werden wenigstens teilweise eingeschmolzen und dadurch resorbiert. Denn die Leukocyten wirken auch fermentativ lösend auf die geschädigten Gewebe, der Eiter schafft sich dadurch selbst eine Höhle, in der er liegt. So sehen wir, daß die bis jetzt besprochenen progressiven Entzündungsvorgänge nicht krankheiterzeugend, sondern krankheitverhindernd wirken. Freilich kann ja auch die Masse des Exsudates sekundär, z. B. in der Lunge durch Fortnahme großer Atmungsflächen und Behinderung des Kreislaufes Schaden bringen, aber im Wesen der Entzündungserscheinungen liegt dieser Nachteil nicht begründet.

Krankheiterzeugend wirken in der Hauptsache die regressiven Veränderungen, die an Ort und Stelle durch die Erreger und im ganzen übrigen Körper durch die resorbierten Gifte hervorgerufen werden. Und auch da, wo das Exsudat als solches schädlich wirkt, da tut es das lediglich dadurch, daß es die Funktion der betroffenen Teile herabsetzt. Das stimmt also wieder zu unserer Definition der Krankheit.

Aber eine besondere Schädigung des Körpers muß dabei noch erwähnt werden. Die Exsudation kann, wie schon gesagt, ungeheure Dimensionen annehmen. Nun sind aber alle Zellen, die aus den Blutgefäßen ausgetreten sind, für den Organismus als lebende Elemente verloren. Sie gehen entweder im Gewebe selbst oder, indem sie aus ihm auf dem Lymphgefäßwege verschwinden, ausnahmslos zugrunde. Sie zerfallen, und ob sie dann wenigstens in diesem Zustande noch irgendwie nutzbar gemacht werden können, ist fraglich. Ihre Existenz außerhalb der Gefäße ist also nur auf eine Reihe von Tagen begrenzt und damit beschränkt sich natürlich auch ihre Wirkung bei den Abwehrvorgängen. Noch deutlicher wird ihr Untergang, wenn sie auch aus dem Gewebe in die Körperhöhlen oder gar ganz aus dem Organismus austreten und z. B. als Eiter entleert werden. In diesen Fällen ist auch das flüssige Exsudat völlig verloren, während es aus dem entzündeten Gewebe wieder aufgesaugt und dann auch wohl wieder verwertet werden kann. Bedenken wir nun, welche gewaltige Mengen von Exsudat unter Umständen geliefert werden, daß es sich auf mehrere Liter belaufen kann, wie bei schweren Eiterungen und bei der Lungenentzündung, wenn es eine ganze Lunge und mehr ausfüllt, dann begreifen wir, welchen Verlust der Körper auf diese Weise erfährt. Wenn 2 bis 3 Liter wertvoller Substanzen, zum großen Teil aber erst neugebildete Zellen verloren gehen, so ist das natürlich nicht ohne Nachteil, wenn auch ein rascher Ersatz im allgemeinen möglich sein wird. Aber auch hier wieder ist ja nicht der progressive Vorgang an sich das Schädliche, sondern der sekundäre Untergang des durch ihn gelieferten Produktes.

Wenden wir uns nun zu den Abwehrvorgängen, die im Gewebe selbst auftreten, so haben wir es auch hier damit zu tun, daß eine außerordentliche Zellvermehrung eintritt. Diese erfolgt durch lebhafte Teilung der fixen Elemente, vor allem der gewöhnlichen Bindegewebszellen und verwandter Elemente. Sie vergrößern sich, teilen sich, lösen sich von ihrem Standort und werden dann wie die Leukocyten amöboid beweglich. Sie wandern wie sie, wenn auch viel weniger lebhaft, und im allgemeinen auch in der Richtung auf den Entzündungserreger und wenn er hohl ist, auch in ihn hinein. Zugleich pflegen auch die Endothelien der Kapillaren anzuschwellen und sich zu teilen, und wenn der Prozeß lange genug dauert und die Gewebsneubildung lebhaft ist, dann entstehen auch neue Gefäße.

Diese lebhafte Proliferation hat Virchow schon frühzeitig beobachtet. Aber er hat alle Zellen, die er im Gewebe fand, also auch die Eiterkörperchen aus der Vermehrung der Bindegewebszellen abgeleitet. Das lag für ihn um so näher, als er diese Zellen zuerst kennen lehrte und ihnen daher sein besonderes Interesse zuwandte. Seine Auffassung war damals aber vor allem deshalb möglich, weil die Emigration noch nicht bekannt war. Sie wurde zwar schon von Waller (1846) gesehen, aber diese Beobachtung wurde nicht allgemein bekannt und geriet in Vergessenheit. Erst Cohnheim fand sie 1867 wieder auf und damit wurde dann Virchows Auffassung richtig gestellt. Daß man dann zunächst über das Ziel hinausschoß und nun alle Zellen bei der Entzündung aus den Gefäßen ableitete, ist begreiflich. Auch dagegen mußte erst wieder eine Reaktion eintreten, bis man auf den heutigen Standpunkt gelangte, der sowohl

Digitized by Google

den Leukocyten wie den fixen Gewebezellen ihr Recht gibt.

Die Wucherung der fixen Zellen erfolgt nun zunächst nicht im Mittelpunkt des Gebietes, weil hier, wenigstens bei den häufigsten bakteriellen Prozessen, die intensivste Schädigung des Gewebes stattfindet, sondern in den äußeren Teilen. Hier bildet sich eine Zone zell- und gefäßreichen jugendlichen Bindegewebes, die mit der Zeit immer dichter und auch breiter wird und sich in die Umgebung allmählich verliert. Sie umgrenzt also den zentralen Bezirk ringsum. Bildet sich hier eine Nekrose und eine mit ihr verbundene Eiterung, dann setzt sich die junge Gewebsschicht scharf gegen sie ab und bildet um sie eine Art von Membran. Der Eiter liegt dann in einer Höhle, er bildet einen Abszeß, der von der Abszeßmembran umhüllt wird. Schneidet man ihn auf, so entleert sich der Eiter und mit ihm die in ihm befindlichen Bakterien. Betrachtet man dann die Innenfläche der Höhle, so sieht man sie mit der roten, blutreichen Membran ausgekleidet, deren freie Fläche feinkörnig, granuliert erscheint. Daher bekommt das neue Gewebe die Bezeichnung Granulationsgewebe. Die körnige Beschaffenheit beruht darauf, daß jedesmal die Verzweigungen eines gegen die freie Fläche strebenden größeren Gefäßes samt den zugehörigen Zellen für sich vorspringen etwa wie die Bäume eines Laubwaldes, den man von oben sieht. So ist das jugendliche sprossende Gewebe überall beschaffen, wo es an Oberflächen ausstößt, z. B. auch im Grunde irgendeines Geschwüres. Und da es auch im Inneren des Körpers überall prinzipiell in der gleichen Weise wächst, wenn es auch keine freie Fläche zur Verfügung hat und da es mikroskopisch denselben Bau besitzt, so haben wir uns daran gewöhnt, das entzündlich wuchernde jugendliche Gewebe überhaupt Granulationsgewebe zu nennen.

Dieses Gewebe hat nun für die Heilung des gesamten Prozesses eine große Bedeutung. Seine Wirkung liegt einmal darin, daß es auch nach innen in den Bezirk wachsend totes Gewebe beseitigen kann. Es dringt darin langsam vor, indem seine Zellen sich amöboid vorschieben und junge Gefäße nachfolgen. Das tote wird so allmählich aufgelöst und das lebende Gewebe tritt an seine Stelle. Wir nennen diesen Vorgang Organisation. Er spielt an vielen Stellen unseres Körpers eine wichtige Rolle, so z. B. in der Herzwand, in der er abgestorbene Muskulatur, die brüchig und zerreißlich ist, durch festes Gewebe ersetzt. Die Organisation wirkt aber auch auf nicht resorbiertes fibrinöses Exsudat, das, wenn es nicht durch das wuchernde Gewebe beseitigt würde, immer wieder zur Quelle neuer Entzündungen werden könnte.

Wo aber das Tote nicht in dieser Weise aufgelöst und ersetzt werden kann, da wird es scharf von dem Organismus abgesetzt. Das Granulationsgewebe schmilzt am Rande des Toten ringsum eine Gewebsschicht ein und trennt es so völlig von sich und dem übrigen Körper. Wir nennen das eine Demarkation. Sie führt oft zur Ausstoßung des Toten aus dem Organismus, z. B. zur Entfernung nekrotischen und meist faulig gewordenen Lungengewebes durch Aushusten, so ferner zur Beseitigung abgestorbener Hautpartien (nach Verbrennung, Aetzung usw.), so zur Abtrennung toter Zehen und größerer Abschnitte des Fußes, wenn diese Teile durch Verstopfung des zuführenden Gefäßes (besonders im Alter) nekrotisch geworden sind. Freilich kommt es heute meist nicht mehr zu diesem Endresultat, weil der Chirurg die toten Teile vorher entfernt. Aber das ändert nichts an der Tatsache, daß die Demarkation im ganzen einen äußerst nützlichen Vorgang darstellt. Sie beseitigt schädlich wirkende Körper und befreit so den Organismus von den aus ihrer Gegenwart erwachsenden Gefahren.

Bei den bakteriellen Entzündungen aber hat das junge wuchernde Bindegewebe noch eine besondere Wichtigkeit. Es ist undurchlässig für Bakterien, auch für die virulentesten unter ihnen. Das ist experimentell geprüft worden. Wenn man Wunden der Haut erzeugt und in ihrem Grunde jenes proliferierende Granulationsgewebe, dann kann man in die Wunde die verschiedensten Bakterien bringen, ohne daß sie von hier aus in den übrigen Körper gelangen.

So bildet also das Granulationsgewebe eine schützende Hülle um den Bakterienherd. Das ist die wichtigste Bedeutung der Proliferation bei der Abwehr der Entzündungserreger. Daneben spielt der Umstand, daß die wuchernden Zellen auch durch Phagocytose tätig sein können, eine etwas geringere Rolle, von der wir noch weiter reden werden.

In welchem Verhältnis stehen nun die Proliferationsprozesse zu den Vorgängen am Gefäßsystem, die wir zuerst besprachen? Sie ergänzen einander. Die Emigration macht schon in der ersten Stunde nach Einwirkung der Schädlichkeit den Anfang, die Wucherung schließt sich naturgemäß erst später an. Sie gebraucht längere Zeit und ist deshalb erst nach Tagen voll entwickelt, dauert dafür dann aber auch wesentlich länger an. Sie kann sich über viele Jahre ausdehnen.

Die lange Dauer vieler Entzündungen

Digitized by Google

zeigt nun aber allein schon, daß es mit der Abwehr der Schädlichkeiten nicht immer zum besten bestellt ist. Wenn die exsudativen und proliferativen Vorgänge stets wirksam entgegenzutreten vermöchten, dann könnten die Entzündungen sich nicht so lange hinziehen. Eine rasche Vernichtung der Schädlichkeiten wird manchmal bei Wundinfektionen, bei Lungenentzündungen, aber sonst oft nur sehr langsam und nicht selten überhaupt nicht erreicht. Die Abwehr ist also meist nicht so vollkommen, wie wir es wünschen möchten. Was sie einigermaßen zuwege bringt, das ist die Beschränkung des Angriffs auf ein umgrenztes Gebiet. Das aber bedeutet immerhin für den Organismus einen großen Vorteil.

Aber wir sind mit der Besprechung der proliferierenden Vorgänge noch nicht ganz zu Ende. Wir finden bei ihnen noch einige bemerkenswerte Einzelheiten, die von der Art der in Betracht kommenden Schädlichkeiten abhängen. In einem Teile der bakteriellen Entzündungen zeichnen sich die wuchernden Zellen durch eine ausgesprochene Phagocytose aus. So bei der Lepra. Wir finden hier das Gewebe in der Hauptsache aus Zellen aufgebaut, die dicht mit Leprabazillen angefüllt sind, so dicht, daß man von Protoplasma und Kern kaum noch etwas wahrnimmt. Aber eine wesentliche Wichtigkeit für die Verminderung der Bakterien hat diese Erscheinung nicht. Die Zellen gehen zugrunde und die Lepra schreitet fort. Die Gewebe vermögen diesen energischen Mikroorganismen nicht zu widerstehen.

Eine Phagocytose beobachten wir aber auch bei den Tuberkelbazillen, die ja den Leprabazillen so ähnlich sind. Aber sie ist hier gewöhnlich verbunden mit einer auch bei der Lepra, aber nicht entfernt so charakteristisch vorkommenden Umwandlung der Zellen zu großen, umfangreichen vielkernigen Elementen, zu Riesenzellen. Diese Gebilde übertreffen die gewöhnlichen Zellen um das Vielfache. Sie haben eine rundliche oder zackige Gestalt. Ihre zahlreichen Kerne stehen im allgemeinen in der Nähe des Zellrandes. Nach innen von den Kernen liegen in wechselnder Zahl die Bazillen. Daß diese innerhalb des Protoplasmas zum Teil und in günstig verlaufenden Fällen ausgedehnt vernichtet werden, unterliegt keinem Zweifel, in anderen aber vermehren sie sich und setzen ihr Vernichtungswerk fort, dem auch die Riesenzellen zum Opfer fallen. Aber daß in allen Fällen die Aufnahme der Bazillen in die Zellen zu einer Verlangsamung ihrer Vermehrung und damit zu einer Umgrenzung des Angriffes führt, darf für gewiß gelten. Schon allein deshalb, weil die Wucherung der Bazillen überall dort, wo keine Einwirkung von Zellen auf sie eintritt, z. B. auf der Innenfläche der durch sie in der Lunge erzeugten Höhlen eine außerordentlich lebhafte zu sein pflegt, im Gewebe dagegen gewöhnlich nur eine sehr beschränkte.

Die Riesenzellen liegen aber nicht beliebig im Gewebe umher, sie bilden vielmehr den Mittelpunkt eines proliferierneden Bindegewebsbezirkes, den wir mit bloßem Auge als ein Knötchen, als einen Tuberkel wahrnehmen, der etwa die Größe eines Hanfkornes (milium) hat und deshalb miliarer Tuberkel genannt wird. Er hebt sich auch mikroskopisch deutlich aus dem übrigen entzündeten Gewebe ab. Aber die einzelnen Knötchen können dicht gedrängt liegen und zusammenfließen. Die größeren Knoten, die wir bei der Tuberkulose wahrnehmen, sind stets durch Vereinigung benachbarter miliarer Knötchen entstanden.

So ist also das tuberkulöse Granulationsgewebe von jedem anderen in den meisten Fällen verschieden. Die Knötchen geben ihm seine Eigenart. Aber seine Rolle bei der Abwehr ist die gleiche wie bei allen anderen Entzündungen. Es lokalisiert die Bazillen, wenn auch nicht immer mit vollendetem Resultat, so doch so, daß sie nur sehr langsam weiter vordringen können. Sie vermögen sich oft auch in vielen Jahren nur wenig auszubreiten, sie bleiben z. B. sehr lange auf die Gelenke und auf Herde im Knochen beschränkt, so daß ausreichend Zeit gegeben ist, durch verschiedene Behandlungsmethoden auf sie einzuwirken, sie z. B. samt dem Granulationsgewebe aus dem Körper operativ zu entfernen.

Aber die knötchenförmige Wucherung reicht manchmal auch aus, die Bazillen von sich aus zu vernichten oder unschädlich zu machen. Die Tuberkulose kann ohne besondere Eingriffe heilen, d. h. zum Stillstand kommen und dann weitere Veränderungen durchmachen, die eine strenge Lokalisation der Bazillen mit sich bringen. Um den tuberkulösen Herd kann sich, meist erst nachdem er nekrotisch geworden, oder wie wir sagen, verkäst ist, eine außerordentlich dichte, schrumpfende Bindegewebshülle bilden, die eine völlig sichere Abschließung der gewöhnlich noch nicht sämtlich abgestorbenen Bazillen mit sich bringt.

So sehen wir also auch hier, daß die Entzündung in der eigenartigen Form des tuberkulösen Prozesses in erster Linie dadurch an der Abwehr beteiligt ist, daß sie den Angriff der Bazillen lokalisiert oder wenigstens außerordentlich verlangsamt.

Die proliferativen Erscheinungen sind also ebenso wie die exsudativen ihrem Wesen nach nicht krankmachende, sondern

Digitized by Google

krankheitverhindernde oder verlangsamende Vorgänge. Das, was die Krankheit bei der Tuberkulose macht, das sind wiederum die **regressiven Prozesse**, die unter der Einwirkung der Bazillen entstehen, also die lokalen Schädigungen, die sich in erster Linie durch eine Abtötung des Gewebes durch die Nekrose, die Verkäsung kennzeichnen und die allgemeinen, die durch die in den Körper aufgenommenen Toxine der Bazillen hervorgerufen werden. Was krank macht, ist also auch hier allein die **Funktionsverminderung** der Organe, nicht die Neubildung des Gewebes.

Ein Beispiel macht das noch klarer. Bei einer Nierenentzündung werden die Glomeruli und die Harnkanälchen durch Gifte und zwar meist durch bakterielle Toxine, geschädigt, zur Degeneration, oft auch zur Nekrose und zur Abstoßung gebracht. Darauf allein sind die Krankheitserscheinungen zurückzuführen. Denn das geschädigte Parenchym kann die harnfähigen Substanzen nicht mehr ausscheiden und so entsteht eine Allgemeinvergiftung des Körpers. Die sich an die regressiven Veränderungen anschließende Neubildung im Bindegewebe hat an sich keine krankmachende Bedeutung.

Nun muß man freilich auch hier wieder sagen, daß die Proliferation sekundäre Nachteile bringen kann. Der Bezirk nämlich, in dem eine entzündliche Neubildung stattgefunden hat, kehrt niemals wieder völlig zur Norm zurück, wenn die Spuren des abgelaufenen Prozesses manchmal auch nur geringfügig sind. Das neugebildete Gewebe wird dichter und dickfaseriger als die normale Bindesubstanz. Oft besteht es aus dicken homogenen Balken. In diesen dichteren Formen hat es dann noch dazu die Neigung, sich immer mehr zusammenzuziehen, zu schrumpfen oder mit anderen Worten, eine **Narbe** zu bilden, die meist blaß aussieht, eine derbe Konsistenz hat und dauernd als solche bestehen bleibt. Diese narbige Umwandlung ist nun nicht etwa lediglich das Ende eines Entzündungsprozesses, sie hat auch mancherlei Unbequemlichkeiten und Nachteile. Zunächst einmal ist Narbengewebe niemals dem normalen Bindegewebe funktionell gleichwertig, es ist weniger elastisch, reißt daher bei Ueberdehnung leicht ein und hemmt andererseits die Bewegungen.

Freilich kann es unter Umständen auch günstig wirken. Wenn es sich z. B. in der Umgebung von Fremdkörpern, eingedrungenen Nadeln, Kugeln usw. entwickelt, so kann es sich bei seiner Schrumpfung so enge um sie herumlegen, sie so fest einschließen, daß es oft nur mit großer Mühe gelingt, sie aus ihm herauszupräparieren. Die fremden Gebilde sind dadurch relativ unschädlich lokalisiert. In ähnlicher Weise kann, wie wir eben schon erwähnten, das verkäste Gewebe der Tuberkulose mit seinen Bazillen fest eingehüllt werden, ebenso werden zuweilen abgestorbene Echinokokken der Leber und andere Formen tierischer Parasiten von Nebengewebe eingeschlossen.

Diesen günstigen Folgen gegenüber kann nun aber die Verkleinerung des Gewebes auch sehr schwere Folgen nach sich ziehen. Geschieht sie in Organen, die herdförmig entzündet waren, dann schädigt sie das Parenchym, soweit es nicht schon durch die soeben erwähnten degenerativen Vorgänge verändert ist, und bewirkt unregelmäßige Einziehungen. Geht sie an der Haut vor sich, so zieht sie die Umgebung strahlig und oft störend an sich heran. Am nachteiligsten wirkt sie, wenn sie in der Wand von Hohlräumen abläuft. Denn dann verengt sie das Lumen, z. B. der Speiseröhre, des Magens, des Darmes, und kann dadurch die schwersten Folgen und den Tod nach sich ziehen.

Sehr deutlich ist das auch an den Herzklappen. Sie werden oft durch Bakterien in Entzündung versetzt und dann durch neu sich bildendes Bindegewebe verdickt. Auch an ihm tritt später Schrumpfung ein. Diese führt zu einer Verkäsung der Klappen und dadurch (von anderen Vorgängen abgesehen) zu einer Verengerung der Oeffnungen oder einer mangelnden Schlußfähigkeit der Klappen. So entstehen die Herzfehler mit ihren schweren Störungen.

In allen diesen Fällen sieht es dann so aus, als riefe der progressive Prozeß Krankheitserscheinungen hervor. Aber er tut es nicht durch seine Proliferation, sondern erst sekundär durch eine **regressive Veränderung** des neuen Gewebes. Denn als solche muß ja die narbige Umwandlung angesehen werden.

Außerdem ist aber das, was die Krankheit hervorruft, wiederum eine **Funktionsschädigung**, und zwar derjenigen Organe, die von der Narbenbildung betroffen werden. Daher beruht also auch in diesen Fällen die Krankheit wiederum auf einer **Verminderung der funktionellen Tätigkeit**.

Wir kehren nun wieder zu der Tatsache zurück, daß die Entzündung in den bisher betrachteten Formen **lokalisierend** wirkt, also die Schädlichkeiten, wenn auch nicht immer, und nicht in vollem Umfange, vom übrigen Körper fernhält. Das ist zweifellos eine vorteilhafte Folge. Aber es ergibt sich daraus noch etwas weiteres. Die Entzündung vermag in der beschriebenen Weise nur die körperlichen Erreger zurückzuhalten, nicht dagegen deren **gelöste Toxine**. Diese werden **resorbiert** und veranlassen

nun im Körper die Bildung von Substanzen, die ihnen entgegenzuwirken, sie unschädlich zu machen geeignet sind. Wir nennen sie Antitoxine. Bekanntlich bilden sie sich am ausgeprägtesten bei der Diphtherie, bei der sie von v. Behring entdeckt wurden und bei der sie therapeutisch zur Anwendung gelangen. Wir nennen einen Körper, der in dieser Weise sich der Gifte zu erwehren vermag, immun. Doch ist das nicht die einzige Art der Immunität. Die Toxine wirken auch auf die Zellen dadurch, daß sie sie veranlassen, sich ihnen anzupassen, ihnen gegenüber widerstandsfähiger zu werden. Und noch eins. Wir sahen oben, daß die Zellen phagocytär wirken und die Bakterien schädigen oder vernichten können. Sie tun das vermittels besonderer bakterizid wirkender Stoffe, die auch aus ihnen frei werden und in die Flüssigkeiten gelangen können. Bei der Immunisierung durch die Toxine steigern aber die Zellen die Fähigkeit zur Bildung dieser Substanzen und das macht sich dadurch bemerkbar, daß sie viel lebhafter phagocytär wirken, als sie es unter gewöhnlichen Verhältnissen tun.

Diese Immunisierung ist die umfassendste Reaktion des Körpers gegen die Entzündungserreger, die den ganzen Körper beteiligende Abwehrerscheinung.

Damit ist die Bedeutung der Entzündung als einer Einrichtung, die den Schädlichkeiten entgegenwirkt, ausreichend dargestellt. Aus der geschilderten Auffassung ergibt sich also, daß die progressiven Vorgänge der Emigration, der Gewebsneubildung, der Immunisierung an sich nicht krankmachend sind, sondern geeignet, Krankheiten zu verhüten oder weniger gefährlich zu machen. Daraus folgt aber weiter, daß es nicht exakt ist, wenn wir sagen, ein Mensch sei an Lungenentzündung, an einer Nierenentzündung, an irgendeiner anderen Entzündung erkrankt. Denn in allen diesen Fällen zeigen sich Krankheitserscheinungen in erster Linie auf Grund der regressiven Veränderungen der Gewebe, die unter dem Einfluß der Erreger, besonders der Bakterien, entstehen und etwa noch auf Grund einer Allgemeinvergiftung des Körpers durch die bakteriellen Toxine. Wir sollten daher strenge genommen nicht sagen, der Mensch leide an einer Nierenentzündung usw., sondern an einer mit Entzündung verbundenen Schädigung der Niere. Das wird man freilich für gewöhnlich nicht tun, weil es zu umständlich ist. Man müßte also einen kürzeren Ausdruck zu finden suchen, der das Wesentliche wiedergibt. Wir haben ihn aber noch nicht und so wird wohl die bisherige Bezeichnung zunächst bestehen bleiben. Uebrigens sprechen wir nicht in allen Fällen von einer Entzündung als einer Krankheit. So reden wir z. B. bei den schweren, zumeist eiterigen Prozessen, wie sie bei Verletzungen entstehen, nicht von einer krankmachenden Wundentzündung, sondern von einer Wundinfektion.

12d) Die Geschwulstbildung. Damit verlassen wir die Entzündung und wenden uns zu einem Gebiet, in dem die progressiven Prozesse noch eine weit ausgesprochenere Rolle spielen als bei ihr, zu den Geschwülsten, den Tumoren. Wir verstehen darunter umschriebene, in sich abgeschlossene und selbständig, d. h. nicht durch Hinzutritt anderer Elemente, sondern lediglich aus sich heraus wachsende Neubildungen, zu deren Bildung fast alle Gewebe unseres Körpers befähigt sind. Es gibt also Neubildungen aus Bindegewebe, Fettgewebe, Knochengewebe, Knorpel, Gefäßen, Muskelgewebe, der Stützsubstanz des Nervensystems, den Epithelien aller Art und aller Organe, es gibt ferner Tumoren, die nur aus einer Art von Geweben und solche, die aus verschiedenen Arten zugleich bestehen. Es gibt weiterhin solche, die in ihrer Struktur mit den entsprechenden normalen Geweben in der Hauptsache übereinstimmen und es gibt andere, deren Bau sich von dem normalen charakteristisch unterscheidet. Das Wachstum aller dieser Geschwülste geht selbstverständlich durch Vermehrung der in ihnen enthaltenen Zellen vor sich, die sich immer wieder von neuem teilen. Allerdings hört ihre Wucherung in den älteren Teilen der Neubildung oft allmählich auf, in den jüngeren aber, d. h. vor allem den am Rande gelegenen Teilen, geht sie dauernd weiter, mit Ausnahme etwa der seltenen Fälle, in denen ein Tumor zum völligen Stillstand kommt.

Die typische makroskopische Form einer Geschwulst ist der rundliche Knoten, der sich durch Konsistenz, Farbe und mehr oder weniger gute Begrenzung gegen die Umgebung auch dann meist deutlich von ihr abhebt, wenn er aus demselben Gewebe wie sie besteht. Noch prägnanter kann diese Verschiedenheit sein, wenn die Neubildung sich aus einem anderen Gewebe als die Nachbarschaft aufbaut.

Mit den angrenzenden Geweben muß der Tumor natürlich zusammenhängen, da er aus ihnen seine Nahrung bezieht. Es treten zahlreiche Gefäße in ihn ein, aber diese Blutversorgung geschieht im allgemeinen nicht wie bei einem Organe, so daß regelrechte Arterien an einer Seite hinein- und Venen ebenda wieder herausführen, sondern so, daß allseitig, wo die Neubildung an andere gefäßhaltige Teile angrenzte, Blutgefäße in ihn eindringen und daß überall auch wieder Venen herausführen. Der

Digitized by Google

Tumor wird also an seiner ganzen Peripherie mit Blut versorgt. Aber die Gefäße verzweigen sich in ihm nicht so typisch wie in einem normalen Organe, sie bilden in ihm ein Netzwerk, durch das im ganzen nur ein langsamer Strom fließt, der ein funktionell in Anspruch genommenes Gewebe nicht genügend ernähren könnte, und hier nur deshalb ausreicht, weil die Geschwülste entweder keine oder nur eine ungenügende Funktion haben.

Außer durch Gefäße hängt die Neubildung mit der Umgebung auch durch Bindegewebe zusammen, das in keinem Tumor fehlt und sich in das der Nachbarschaft kontinuierlich fortsetzt. Zu ihr verhalten sich die Elemente des Tumors in zweifacher Weise verschieden. Ihr Wachstum erfolgt nämlich einmal so, daß die sich vermehrenden Zellen in der schon vorhandenen Neubildung lediglich so wuchern, daß sie als gut umgrenzte geschlossene Masse bestehen bleibt und sich in dieser Weise vergrößert. Man kann es in groben Zügen vergleichen mit der Größenzunahme eines Gummiballes, den man aufbläst, oder besser mit dem Wachstum einer Pflanzenknolle, etwa einer Kartoffel, in der sich beständig neue Zellen bilden, ohne daß die Form der Knollen dadurch geändert wird. Die anschwellende Kartoffel verdrängt das umliegende Erdreich und in ähnlicher Weise schiebt auch die Geschwulst das anstoßende Gewebe beiseite. Diese Art des Wachstums nennen wir das expansive, das allein durch Ausdehnung der Neubildung erfolgt. Im Gegensatz dazu steht das infiltrierende Wachstum, bei dem die Zellen des Tumors aus ihm heraus überall in die Spalten der Nachbarteile vordringen, ohne dabei freilich zunächst den Zusammenhang mit ihm zu verlieren. Aber ringsum steckt dann die Neubildung mit kleinen Fortsätzen und Ausläufern so in der Umgebung, wie etwa eine Pflanze, die zahllose feine Würzelchen in den Boden schickt. Die Verbindung mit den angrenzenden Teilen wird dadurch natürlich viel inniger, als bei dem expansiven Wachstum. Kann man bei diesem die Geschwulst meist leicht auslösen, weil die zarten Zusammenhänge mit den beiseite geschobenen benachbarten Teilen sich ohne Mühe zerreißen lassen, so ist das in dem anderen Falle nicht möglich. Tumor und normales Gewebe sind zu fest ineinander verfilzt. Ein typisches Beispiel für die erste Art der Vergrößerung der Neubildung ist etwa eine gewöhnlich sehr lose in der Umgebung sitzende Fettgewebsgeschwulst oder eine Muskelgeschwulst des Uterus, für die zweite das ausgesprochen infiltrierend wachsende Karzinom. Aber in einer Hinsicht herrscht bei beiden volle Uebereinstimmung. Die Geschwülste wachsen nämlich stets nur aus sich heraus, d. h. nur dadurch, daß ihre Zellen sich vermehren, nicht aber dadurch, daß angrenzende Zellen der normalen Teile sich an ihrer Volumenzunahme beteiligen. So hat man es sich nämlich lange vorgestellt, man dachte sich, die benachbarten Elemente wandelten sich in Geschwulstbestandteile um. Und das sollte sogar bei Zellen ganz anderer Herkunft, nicht nur bei solchen der Fall sein, die genetisch mit denen der Neubildung übereinstimmen. Heute begreift man es kaum noch, daß solche Vorstellungen überhaupt bestehen konnten. Sie mußten dem Verständnis die größten Schwierigkeiten bereiten, weil man es nicht begreiflich machen konnte, wie die angrenzenden Zellen dazu kommen sollten, sich in jenem Sinne umzuwandeln. Die jetzige Vorstellung ist dagegen so überaus einfach. Wenn wir im Beispiel bleiben, so wird ja auch die Kartoffel nicht dadurch größer, daß die direkt an sie anstoßende Erde ohne weiteres in ihre Substanz sich umwandelt. Vielmehr wird sie gelöst in das Innere der Knolle aufgenommen und dient dann als Nahrung für die sich vermehrenden Zellen. Und auch die Würzelchen der Pflanzen verlängern sich nicht dadurch, daß sich an ihrer Spitze Erde ansetzt, sondern nur so, daß sie von innen aus sich heraus wachsen. So breiten sich auch die Geschwülste ausschließlich durch Wucherung der zu ihnen gehörenden Zellen aus. Das kann aber nur unter Schädigung der Nachbargewebe geschehen, die, je größer der Tumor wird, um so mehr verdrängt werden müssen. Bei dem expansiven Wachstum werden die angrenzenden Teile immer mehr im ganzen zusammengedrückt und zum Schwunde gebracht, bei dem infiltrierenden Vordringen wirkt außer dieser totalen Kompression auch der Druck, den die wurzelförmig vordringenden Zellmassen auf die zwischen ihnen befindlichen Gewebsbestandteile ausüben. Doch kommen außer der rein mechanischen Wirkung auch noch andere Einflüsse in Betracht, so die Schädigung des Gewebes durch die nachteiligen Stoffwechselprodukte der Geschwülste.

Das selbständige Wachstum der Tumorzellen kommt nun vor allem auch darin zum Ausdruck, daß sie sich über die Grenzen der primären Knoten in den übrigen Körper ausbreiten. Das gilt in erster Linie und fast ausschließlich für die infiltrierenden Neubildungen. Die in die Gewebsspalten einwuchernden Zellen folgen einerseits den Lymphbahnen und gelangen so schließlich zu den Lymphdrüsen, andererseits dringen sie aber auch durch die Wandungen der Gefäße in das Lumen vor und breiten sich in ihm aus. Wenn sie sich dann dem Blut-

Digitized by Google

strom beimischen oder durch ihn zum Teil abgerissen werden, dann werden sie mit ihm im Körper umhergetrieben, und wo sie sich dann schließlich festsetzen und günstige Bedingungen finden, da entstehen durch ihr auch hier fortgesetztes, ja meist besonders lebhaftes Wachstum sekundäre Tumoren oder, wie wir sagen, Metastasen. Unter den inneren Organen sind es vor allem die Lunge und Leber, die mit diesen metastatischen Geschwülsten durchsetzt werden. In der Leber finden sich zuweilen tausende, ja völlig unzählbare, dann aber selbstverständlich nur kleine Tumoren. Auch bei der Entwickelung dieser sekundären Neubildungen hat man früher angenommen, daß die Zellen der Organe, in denen sie entstehen, an ihrer Bildung beteiligt seien, sich in ihre Bestandteile umwandelten. Doch hat man hier zuerst eingesehen, daß das ein Irrtum war, während die gleiche Erkenntnis für die primären Tumoren erst später gewonnen wurde.

Diese Vorstellungen über das Wachstum der Geschwülste hängen aufs engste zusammen mit der Frage nach ihrer Entstehung. Wie wir früher erwähnten, ließ Rokitansky und anfänglich auch noch Virchow die Tumorzellen in einem aus den Gefäßen stammenden Blastem entstehen. Die erste Veranlassung zur Geschwulstbildung wurde also in das Blut verlegt, eine Anschauung, die sich in modifizierter Form auch noch gehalten hat, nachdem Virchow die Abkunft der Tumorzellen von denen des Körpers nachgewiesen hatte. Man legte dann aber nicht mehr den Wert auf das Blastem, sondern darauf, daß eine primäre Anomalie des Blutes vorläge, die an Ort und Stelle die Zellen zur Wucherung brächte. Und man glaubte in der Allgemeinerkrankung des Körpers bei den bösartigen Tumoren, zumal dem Krebs, eine Stütze für diese Ansicht zu finden. Die allgemeine Kachexie sollte den Anfang machen. Man verwechselte also Ursache und Wirkung. Wir wissen heute, daß die Kachexie von dem schädlichen Einfluß des Tumors abhängt, daß es also nicht umgekehrt ist. Die damalige Auffassung brachte es aber auch mit sich, daß man alle in einem Körper vorhandenen Geschwulstknoten unter der Einwirkung der Blutanomalie getrennt entstehen ließ und so mußte man annehmen, daß sie, obgleich überall gleich gebaut, doch aus den verschiedensten Zellarten hervorgehen könnten. Worin nun die primäre Blutveränderung bestehen sollte, wußte man nicht, aber man nahm allmählich mehr und mehr an, daß irgendein infektiös wirkendes Agens im Spiele sein müsse, das in die Zellen gelangte, und sie zur Wucherung brächte. Und als man erkannte, daß die Metastasen nicht selbständig entstehen, sondern von dem primären Tumor abhängen, da dachte man, daß sie zustande kämen, weil jenes Agens mit dem Blut verschleppt würde und nun die Zellen der Organe auch zur Wucherung brächte, aber wiederum so, daß aus den Organelementen durch eine Metamorphose dieselben Zellen würden, die in dem primären Tumor vorhanden waren. Als man nun aber weiter einsah, daß die Metastasen allein aus verschleppten Geschwulstzellen und deren Wucherung entstehen, da mußten diese alten Anschauungen fallen. Aber der infektiöse Charakter der Geschwulstentwickelung wurde damit nicht aufgegeben. Im Gegenteil, als die Zeit der Bakteriologie kam, suchte man auch die Geschwülste, vor allem den Krebs auf Bakterien, und als das sich als unmöglich erwies, auf Protozoen, Sproßpilze u. dgl. zurückzuführen. Man nahm an, daß diese Lebewesen die normalen Zellen zu unbeschränkter Wucherung bringen könnten. Wie sie das freilich anfangen sollten, davon wußte man nichts, man versuchte allerlei nicht haltbare Erklärungen und man bedachte nicht, daß Parasiten die Zellen stets nur schädigen, niemals aber zu lebhafterer Wucherung bringen können, die ja keinen regressiven, sondern einen ausgesprochenen progressiven Vorgang darstellt. Im Laufe der Zeit ist dann auch die Annahme einer parasitären Genese immer mehr zurückgetreten. Das gesamte anatomische Verhalten der Tumoren ließ sich mit ihm nicht vereinigen und das klinische ließ sich mit dem anatomischen leicht in volle Uebereinstimmung bringen. Wenn, wie es ja der Fall ist, die Tumorzellen selbst imstande sind, sich überall im Körper auszubreiten, und wie Parasiten zu wuchern, dann lassen sich alle klinischen Erfahrungen, so besonders die oft außerordentlich schnelle allgemeine Aussaat von sekundären Tumoren leicht begreiflich machen.

Aber wie kommen nun irgendwelche Zellen unseres Körpers dazu, sich so zu vermehren, daß sie eine Geschwulst bilden, und sich dann weiter im übrigen Organismus überall anzusiedeln? Das ist noch nicht bis in die letzten Einzelheiten aufgeklärt. Gewöhnlich meint man, daß die Zellen sich wesentlich umgewandelt und so besondere Eigenschaften als Geschwulstelemente angenommen hätten. Man denkt sich das gern unter dem Bilde der progressiven Ernährungsstörung Virchows, unter der Annahme, daß ein Reiz die Zellen irgendwie in ihrer Ernährung gestört und zugleich zu gesteigerter progressiver Tätigkeit gebracht hätte. Aber wir sahen oben, daß das eine unmögliche Vorstellung ist, die nicht energisch genug zurückgewiesen werden kann. Wenn eine Zelle in ihrer Ernährung ge-

Digitized by Google

stört ist, dann kann sie nicht eine erhöhte Wucherungsfähigkeit zeigen, diese muß im Gegenteil notwendig herabgesetzt sein. Man faßt denn die Sache jetzt gewöhnlich auch etwas anders an. Man stellt sich vor, daß die Zellen eine Verminderung ihrer gewöhnlichen funktionellen Leistung erfahren haben und daß sie dann andererseits, da sie durch die Funktion nicht mehr wie früher in Anspruch genommen sind, ihre stets vorhandene Wachstumsfähigkeit zum Ausdruck bringen können. Das hat zweifellos seine Berechtigung. Denn in den Geschwülsten ist im allgemeinen, wie wir schon sagten, keine Funktion vorhanden, oder sie ist doch wesentlich herabgesetzt. Wir sehen sie allerdings in manchen Tumoren noch einigermaßen entwickelt und entnehmen daraus, daß die Zellen keine wesentliche Aenderung erfahren haben. So können z. B. die Adenome der Leber noch Galle, die Krebse der Schleimhäute noch Schleim bilden. Aber die Funktionen sind zweifellos vermindert. Allerdings ist in jenen Neubildungen oft ziemlich viel Galle und Schleim nachweisbar, aber beide Produkte mußten sich anhäufen, da sie in Ermangelung von Ausführungsgängen, die den Tumoren fehlen, nicht abgeführt werden können. Und da ist es nicht merkwürdig, daß in der relativ langen Zeit, während der eine Geschwulst besteht, sich das Sekret reichlich ansammelt. Dazu gehört nur ein Bruchteil der normalen funktionellen Tätigkeit. Und dieser Verminderung entspricht die Zunahme der Proliferation. Aber das heißt nun doch in letzter Linie nichts anderes, als daß die Bedingungen für die Zellvermehrung günstiger geworden sind, so daß diese sich besser äußern kann, es heißt aber nicht, daß nun auch die Fähigkeit zum Wachstum gesteigert ist. Wir können uns das überhaupt nicht denken. Wachstum kann immer nur ausgelöst, nicht erzeugt oder erhöht werden.

Nehmen wir aber nun an, die Zellen seien in dieser Weise verändert, genügt das dann, um die Geschwulst entstehen zu lassen? Das läßt sich am deutlichsten für die malignen infiltrierend wachsenden Geschwülste zurückweisen. Denn es ist nicht einzusehen, weshalb die Zellen, deren Wachstumsfähigkeit ausgelöst ist, so wachsen sollten, daß sie die anderen verdrängen, daß sie zwischen sie einwuchern sollten. Auch bei der Regeneration ist die Funktion gegenüber der Vermehrungsfähigkeit herabgesetzt und doch hört das Wachstum auf, sobald die Gewebespannung wiederhergestellt ist. Es muß daher noch etwas hinzukommen, was das dauernde Vordringen der Tumorzellen, das Nichtaufhören des Wachstums verständlich macht. Und dieses Moment ist nicht in den Zellen, sondern in den Bedingungen zu suchen, unter denen die Tumorzellen sich befinden und von Anfang an befanden. Die Beziehungen zur Umgebung sind maßgebend. Im allgemeinen können wir sagen, daß die Lösung aus dem normalen Verbande und das dadurch herbeigeführte Selbständigwerden von Zellen und Zellkomplexen die gesuchte Bedingung darstellt. Die Zellen, die nicht mehr wie sonst eingefügt sind und deshalb den Gesetzen des Organismus nicht mehr unterliegen, wachsen dauernd weiter. Derartige Lösungen aus dem Verbande, derartige Ausschaltungen kommen hauptsächlich durch Entwickelungsstörungen, meist embryonaler Natur zustande und auf sie führen wir sehr zahlreiche Geschwulstarten zurück. Bei dem Karzinom kommt als auslösendes Moment allerdings meist keine primäre Ausschaltung, oder doch wenigstens nicht als allein maßgebendes Moment in Betracht, sondern eine chronische Entzündung, die an das Epithel anstößt und, da sie die normalen Beziehungen zwischen ihm und dem Bindegewebe aufhebt, auslösend auf die Proliferation des Epithels wirkt. So kommt dessen Eindringen in die Bindesubstanz zustande, durch das es sich allmählich aus dem normalen Verbande ausschaltet, während es zugleich eine Abnahme seiner Differenzierung erleidet, die seine Wachstumsfähigkeit mehr in den Vordergrund rückt. Durch diese Vorgänge wird das Epithel nach und nach selbständig, unabhängig und fähig, rücksichtslos im Sinne des Karzinoms den übrigen Körper zu durchwuchern.

So viel über die Entstehung der Tumoren. Nun zu der Frage, die uns hier am meisten interessiert: Welche Bedeutung hat die Geschwulstbildung im Begriffe der Krankheit? Virchow mußte natürlich in Uebereinstimmung mit seinen Anschauungen der Meinung sein, daß die Tumorzelle das Wesen der mit ihrer Gegenwart verbundenen Krankheit sei. Er stellte sich also vor, daß die Zelle verändert sei, und zwar im Sinne der progressiven Ernährungsstörung. Heute drückt man es gern so aus, daß man von einer „Entartung" der die Geschwulst bildenden Zellen, also z. B. von einer karzinomatösen Degeneration spricht. Das ist unbegreiflich, weil es durchaus falsch ist. Wie kann ein Prozeß, der mit einer so ungeheuren Neubildung von Zellen einhergeht, ein degenerativer sein. Aber mit dieser „Entartung" denkt man sich nun eine Aenderung des biologischen Verhaltens in dem Sinne verbunden, daß die Zelle andere Produkte liefere als sonst. Und das soll nun das Wesen der Krankheit sein. Aber eine derartige Beschaffenheit der Zellen ist doch an sich keine Krankheit. Eine solche entsteht doch nur dann, wenn das Indi-

Digitized by Google

viduum, in dem die Geschwulst sitzt, darunter leidet. Aber bleiben wir zunächst bei der angenommenen Zellveränderung stehen und fragen wir uns, was darüber bekannt ist. Dann müssen wir antworten: nichts. Trotz aller Bemühungen, zumal von seiten der pathologischen Chemiker, hat sich in den Zellen der Geschwülste, unter denen besonders der Krebs Gegenstand der Untersuchung war, nichts nachweisen lassen, was nicht auch sonst in den Geweben gefunden wird. Nur eine Steigerung einzelner Prozesse, z. B. der Bildung proteolytisch wirkender Fermente oder der Autolyse in den zellreichen Tumorgeweben, hat sich feststellen lassen. Aber diese Vermehrung bedeutet keine prinzipielle Aenderung, sie läßt sich durchaus aus den besonderen Bedingungen des Tumorwachstums ableiten. Die Geschwulstzellen sind also nicht wesentlich verändert. Aber mit der Umgestaltung, die wir tatsächlich an ihnen kennen, mit der Abnahme der Funktion und der Steigerung der Proliferation ist natürlich auch eine gewisse Modifikation des Stoffwechsels verbunden, so daß dessen Produkte in anderen quantitativen Verhältnissen als sonst entstehen. Ferner aber liefern natürlich die Geschwülste, je umfangreicher sie sind, um so reichlichere Umsatzprodukte, die in dieser Menge im normalen Körper fehlen, also eine Ueberschwemmung des Organismus herbeiführen. Sie werden den Geweben Schaden bringen müssen und das äußert sich zunächst einmal darin, daß in der näheren Umgebung der Tumoren die Gewebe in Entzündung zu geraten pflegen.

Damit kommen wir aber zu den Folgen der Geschwülste für den von ihnen befallenen Körper. Erst dadurch, daß sie auf ihn einwirken, wird er krank. Ihre Existenz an sich bedeutet keine Krankheit. Sie ist es ebensowenig, wie die Wucherung von Unkraut in einem Garten eine Krankheit dieses Gartens ist. Diese Wucherung ist nicht einmal etwas Abnormes, sie ist vielmehr für sich betrachtet etwas durchaus Physiologisches. Nicht anders ist es mit den Geschwülsten. Daß Zellen anfangen zu wachsen und große Knoten zu bilden, das ist etwas, was ihrem Wesen durchaus entspricht. Zellen sind eben von Hause aus wachstumsfähige Gebilde, die nur unter normalen Verhältnissen diese Fähigkeit nicht betätigen können. Wenn ihnen aber die Bedingungen günstig sind, dann wachsen sie. Und wenn das in selbständiger Form geschieht, dann nennen wir das Produkt eine Geschwulst.

Wie nun aber das Unkraut den ganzen Garten überwuchern und ihn dadurch „krank" machen kann, insofern alle anderen Pflanzen, die ihm eigentlich seinen Charakter geben, beeinträchtigt werden, so wird auch unser Körper krank, wenn er durch die Tumoren in seiner Existenz gefährdet wird. Das geschieht einmal durch die Resorption der erwähnten zu reichlich gebildeten Stoffwechselprodukte, die den Organismus in gewissem Umfange vergiften können. Es geschieht manchmal weiter dadurch, daß Geschwülste den Boden abgeben für die Wucherung von Bakterien. So ist es besonders häufig bei den an eine freie Fläche anstoßenden Krebsen, zumal denen des Magens und des Darms. Die ältesten oberflächlichen Teile der Karzinome gehen teils durch mangelhafte Ernährung, teils unter der Einwirkung der Mikroorganismen zugrunde, sie verjauchen und so entstehen in ihnen giftige Produkte, deren Aufnahme in den Körper zu Intoxikationen führt. In erster Linie aber machen sich die Tumoren durch ihren mechanischen Einfluß geltend. Von dem Nachteil ihres expansiven und infiltrierenden Wachstums war schon die Rede. Die benachbarten Gewebe werden komprimiert, vernichtet und so können dadurch ganze Organe und damit dann oft wichtige Funktionen ausfallen. Aber auch schon der Druck eines mäßig großen Tumors kann bei nur teilweiser Zerstörung des Organes krankmachend und tödlich wirken, wenn er im Gehirn sitzt. Eine Neubildung kann ferner, wenn sie die abführenden Wege eines sezernierenden Organes verschließt, dessen Funktion hindern oder unmöglich machen, so eine Geschwulst der Harnblase die Tätigkeit der Nieren, ein Karzinom der Gallenwege die der Leber. Sie kann weiterhin, wenn sie die Luftwege ausfüllt, die Atmung verhindern, wenn sie Arterien undurchgängig macht, die Ernährung stören, wenn sie am Darmkanal hier oder dort Verengerungen mit sich bringt, die Bewegung des Inhaltes aufheben und dadurch die Nahrungsaufnahme einschränken oder die Entleerung der verdauten Speisen hemmen. Diese letzteren Folgen sind besonders häufig, weil am Verdauungskanal Geschwülste, zumal Karzinome oft vorkommen. Es ist nicht erforderlich, noch weiter auf die Folgen einzugehen, und nur das mag noch erwähnt sein, daß sie um so hochgradiger werden, je größer und zahlreicher die Tumoren sind, und so werden sie in erster Linie nachteilig wirken, wenn sie zu ausgedehnten Metastasen führen.

So machen sich also die Geschwülste in mannigfacher Weise schädlich auf den Körper geltend. Aber immer geschieht es so, daß sie die Organe in irgendeiner Weise in ihrer Funktion stören. Erst dadurch entsteht eine Krankheit. Die Existenz einer Neubildung ist solange ganz gleichgültig, solange sie den Organismus nicht irgendwie

Digitized by Google

in Mitleidenschaft zieht, und zwar dadurch, daß sie die Tätigkeit der einzelnen Körperteile vermindert oder beseitigt. So kommen wir also auch hier zu dem Schluß, daß die Krankheit nichts anderes ist, als die Summe der durch Veränderungen im Bau des Körpers herabgesetzten Funktionen.

Literatur. ***Albrecht,*** *Frankfurter Zeitschrift für Pathologie Bd. I.* — ***v. Behring,*** *Die Blutserumtherapie 1892.* — ***Borst,*** *Die Lehre von den Geschwülsten 1902.* — ***Cohnheim,*** *Virchows Archiv Bd. 40, 1867.* — ***Marchand,*** *Der Prozeß der Wundheilung 1901.* — ***Metschnikoff,*** *Leçons sur la pathologie comparée de l'inflammation. Paris 1892.* — ***Ribbert,*** *Wesen der Krankheit. Bonn 1909.* — ***Derselbe,*** *Geschwulstlehre. Bonn 1904.* — ***Derselbe,*** *Geschichtliche Entwickelung der Lehre vom Wesen der Krankheiten. Bonn 1899.* — ***Rokitansky,*** *Handbuch der pathologischen Anatomie 1846.* — ***Rosenfeld,*** *Archiv für experimentelle Pathologie Bd. 55, 1906.* — ***Derselbe,*** *Berliner klinische Wochenschrift 1904.* — ***Weigert,*** *Fortschritte der Medizin Bd. 7, 1889.* — ***Derselbe,*** *Deutsche medizinische Wochenschrift 1896.* — ***Virchow,*** *Zellularpathologie 1858.* — ***Derselbe,*** *Die krankhaften Geschwülste 1863.*

H. Ribbert.

Pebal
Leopold.

Geboren am 29. Dezember 1826 zu Sekkau, Obersteiermark, gestorben durch Mörderhand am 17. Februar 1887 in Graz, wo er seit 1865 an der Universität wirkte. Es gelang ihm, den dort stark verwahrlosten chemischen Unterricht in die Höhe zu bringen und aus dem kleinen Laboratorium ausgezeichnete Experimentalarbeiten im Verein mit Schülern hervorgehen zu lassen. Diese Arbeiten gehören teils der organischen, teils der anorganischen und praktischen Chemie an. Besonders hervorzuheben sind seine Forschungen über die Oxyde des Chlors, gesundheitlich wie durch ihre Explosivität gefährliche Stoffe, die er im Verein mit trefflichen Schülern zu meistern verstand; ferner Arbeiten über Dissoziation des Salmiaks. Sein Leben und Wirken ist in einem Nekrolog (Ber. 20, 927) von Lothar Meyer geschildert.

E. von Meyer.

---

von Pechmann
Hans.

Geboren am 1. April 1850 in Nürnberg, freiwillig aus dem Leben geschieden infolge schwerster Melancholie am 19. April 1902 in Tübingen, entstammte einer alten bayerischen Familie. Nach Studien in München, Heidelberg, Greifswald, war er längere Zeit Dozent und zugleich Assistent bei Adolf von Baeyer und wurde 1895 Nachfolger von Lothar Meyer in Tübingen. Als hervorragender Experimentator hat v. Pechmann namentlich der organischen Chemie außerordentlich viele und schöne Ergebnisse synthetischer Untersuchungen zugeführt. Es sei erinnert an die Synthesen der Alpha-Diketone, der substituierten Cumarine, der Acetondicarbonsäure und Cumalinsäure, deren Ueberführung in Pyridinderivate sehr wichtig war; ferner an seine Entdeckung der Osotriazole, der Formazylverbindungen, des Diazomethans und an dessen Verwertung zu synthetischem Aufbau anderer Verbindungen. Sein Leben und seine Leistungen hat sein Freund W. Königs liebevoll und ausführlich geschildert (Ber. d. ch. Ges. 36, 4417).

E. von Meyer.

Peles Haar

wird eine Art natürliche Glaswolle genannt, die in den Vulkanen Hawais gebildet wird. Es ist eine Art Bimsstein (vgl. den Artikel „Gesteinsstruktur").

Péligot
Eugène.

Geboren zu Paris am 24. Februar 1811, gestorben ebenda am 15. April 1890, war viele Jahrzehnte lang als Professor der technischen Chemie am Conservatoire des Arts et Métiers sowie an der Münze tätig. Diesen Stellungen entsprechend beschäftigte er sich vielfach mit Fragen der angewandten Chemie, insbesondere im Bereiche der Fabrikation des Rüben- und Rohrzuckers, der Glasbereitung und anderer Industriezweige. Hervorragende Bedeutung für die Entwickelung der organischen Chemie besaßen seine mit Dumas ausgeführten Untersuchungen über Holzgeist (Methylalkohol) und über Aethal, welche Verbindungen als dem lang bekannten Alkohol analog erkannt wurden. Seine Experimentaluntersuchungen sind fast durchweg in den Annales de Chimie et de Physique veröffentlicht worden. Von größeren Werken sind zu nennen: Le verre, son histoire et sa fabrication (1876) und Traité de chimie analytique (1883).

E. von Meyer.

Pelouze
Jules.

Geboren am 13. Februar 1807, gestorben am 31. Mai 1867 zu Paris, wo er seit 1831 als erfolgreicher Lehrer an der École polytechnique, am Collège de France und in anderen Stellungen sich betätigte, hat in Frankreich durch sein mit Frémy herausgegebenes großes Lehrbuch, Traité de chimie générale, und mehrere kleinere Werke auf die heranwachsenden Chemiker stark eingewirkt. Die Beeinflussung Pelouzes durch

hervorragende Fachgenossen, wie Gay Lussac, Liebig, mit denen er einige Untersuchungen ausführte, ist unverkennbar. Abgesehen von wertvollen Experimentalarbeiten aus dem Bereiche der technischen und analytischen Chemie, sind von ihm im Gebiete der organischen Chemie vortreffliche Leistungen zu verzeichnen. Fast alle seine Veröffentlichungen finden sich in den Annales de Chimie et de Physique, einige auch in Liebigs Annalen und im Journal für praktische Chemie.

E. von Meyer.

Peltier

Jean Charles Anathase.

Geboren am 22. Februar 1785 in Ham, Departement de la Somme, gestorben am 27. Oktober 1845 in Paris. Er war Uhrmacher bis 1815, zu welcher Zeit eine kleine Erbschaft ihm ermöglichte, sich ganz den Wissenschaften zu widmen Zunächst nahm die Phrenologie, später Elektrizität und Meteorologie sein Interesse in Anspruch. 1834 stellte er die als Peltiereffekt bekannte Wärmetönung fest, die in einem Thermoelement auftritt, wenn ein elektrischer Strom hindurchgeleitet wird.

Literatur. *Notice sur la vie de P., par son fils. Paris 1847.*

E. Drude.

Pendel.

Einleitung. 1. Das mathematische Pendel: a) Grundgleichung für seine Bewegung. b) Schwingungsdauer. c) Einfluß der Amplitude auf die Schwingungsdauer. d) Zykloidenpendel. 2. Das physische Pendel: a) Reduzierte Pendellänge, Schwingungsmittelpunkt. b) Konjugierte Drehachsen, Reversionspendel. 3. Schwerkraftsmessungen mit dem Pendel: a) Allgemeines. b) Messung der Schwingungsdauer. c) Bessels Methode zweier Fadenpendel. d) Benutzung des Reversionspendels. 4. Störende Einflüsse bei der Pendelbewegung: a) Temperatur. b) Dämpfung. c) Einfluß des umgebenden Mediums auf die Schwingungsdauer. d) Schneide. e) Mitschwingen. f) Elastizität des Pendels. g) Geometrische Bedingungen für das Reversionspendel. h) Elimination von Störungen. 5. Sphärisches Pendel: a) Zentrifugalpendel. b) Kleine Bewegungen des sphärischen Pendels. 6. Einfluß der Erdrotation: a) Foucaultsches Pendel. b) Bravaisscher Pendelversuch.

Einleitung. Unter einem Pendel wird ein fester Körper verstanden, der sich um eine im Körper und im Raume feste Achse frei drehen kann; als äußere Kraft soll, abgesehen von störenden Einflüssen, lediglich die Schwerkraft auf ihn wirken. Das gewöhnliche Uhrpendel fällt also nicht unter diesen Begriff des freischwingenden Pendels, da außer der Schwerkraft noch Kräfte auf dasselbe wirken, die durch das Steigrad übertragen werden. Die wichtigste Anwendung des freischwingenden Pendels ist die Bestimmung der Größe der Schwerebeschleunigung an einem Erdorte. Da die Geodäten an diesem Problem besonders interessiert sind, so ist es zu verstehen, daß die Theorie des Pendels als Präzisionsmeßinstrument hauptsächlich von ihnen ausgebildet ist.

In den folgenden Entwickelungen wird, wie es üblich ist, zunächst ein idealisiertes Pendel, das mathematische Pendel, betrachtet; anschließend daran werden die Grundlehren für das physische Pendel gegeben. In diesem Umfange pflegt die Lehre vom Pendel in den meisten Darstellungen der Physik gegeben zu werden. Diese Betrachtungen reichen aber keineswegs aus, wenn man das Pendel als Präzisionsinstrument benutzen will, d. h. wenn man die Beobachtungen mit ihm so genau machen will als es die uns heutzutage zur Verfügung stehenden technischen Mittel gestatten. Das Pendel kann als ein klassisches Beispiel dafür betrachtet werden, wie außerordentlich die Schwierigkeiten wachsen, wenn man von rohen Beobachtungen zu Präzisionsbeobachtungen übergeht. Die wirklichen Naturvorgänge sind eben, selbst wenn wir sie im Laboratorium unter möglichst günstigen Bedingungen studieren, noch sehr kompliziert, und ihre scheinbare Einfachheit kommt nur dadurch zustande, daß wir sie durch eine genügend makroskopische Brille betrachten. Geht man also auf Präzision aus, so muß man, wie es im folgenden geschehen soll, auch die störenden Einflüsse ausführlich betrachten und eventuell nach Wegen suchen, auf denen man ihre Wirkung eliminieren kann.

Bei allen diesen Betrachtungen handelt es sich um „ebene“ Schwingungen eines Pendels um eine feste Drehungsachse. In etwas allgemeinerer Weise werden als Pendelbewegungen auch die räumlichen Bewegungen bezeichnet, die ein Massenpunkt, der mit einem festen Raumpunkt starr verbunden und frei um ihn drehbar ist, unter der Wirkung der Schwerkraft ausführt (sphärisches Pendel). Hier ist als spezieller Fall besonders das Zentrifugalpendel zu nennen.

Endlich ist noch der Einfluß der Erdrotation auf die Pendelbewegungen zu erörtern, da uns die Beobachtung des Pendels ein Mittel gibt, direkt mechanisch die Erdrotation nachzuweisen.

1. Das mathematische Pendel. 1a) Grundgleichung für seine Bewegung. Unter einem mathematischen Pendel wird ein Massenpunkt verstanden, der mit einem festen Raumpunkte O starr verbunden ist und sich um diesen Punkt unter der alleinigen Wirkung der Schwerkraft frei bewegt. Hier

Digitized by Google

sollen zunächst nur ebene Bewegungen betrachtet werden, und es wird daher angenommen, daß der Massenpunkt um eine durch O gehende feste Achse, die senkrecht zur Zeichenebene (Fig. 1) zu denken ist, frei drehbar sei; O werde kurz als Drehpunkt des Pendels bezeichnet.

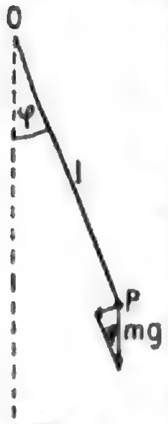


Fig. 1.

Befindet sich das Pendel in Ruhe, so hängt der Massenpunkt vertikal unter dem Drehpunkt; denn die Verbindungslinie des Massenpunktes mit O muß in diesem Falle in die Richtung der Schwerkraft fallen, weil diese sonst ein Drehungsmoment um die Drehachse ausüben würde. Um die Bewegungsgleichung des Pendels aufzustellen, bezeichnen wir die Masse des beweglichen Punktes P mit m, die Länge der Verbindungslinie OP (**Pendellänge**) mit l und den Winkel, den sie mit der Vertikalen in O bildet, mit φ (**Ausschlag des Pendels**); φ wird auf der einen Seite der Vertikalen, etwa der rechten, als positiv, auf der anderen als negativ gerechnet. Nimmt nun der Ausschlag φ während der Zeit dt um den Betrag $d\varphi$ zu, so haben, da der Punkt P sich nur auf einem Kreise mit dem Radius l um O als Mittelpunkt bewegen kann, die lineare Geschwindigkeit und die Beschleunigung von P die Werte $\frac{l d\varphi}{dt}$ und $\frac{l d^2\varphi}{dt^2}$ oder $l\dot{\varphi}$ und $l\ddot{\varphi}$ (durch übergesetzte Punkte sollen im folgenden stets Ableitungen nach der Zeit t bezeichnet werden) und ihre Richtung ist durch die Richtung der Kreistangente in P gegeben. Am Punkte P greift die Kraft mg an, wenn man mit g die Größe der Schwerebeschleunigung am Beobachtungsort bezeichnet. Von dieser Kraft wird aber nur die Komponente $mg \sin\varphi$ in der Richtung der Kreistangente beschleunigend oder verzögernd wirksam, so daß die Bewegungsgleichung mit Beachtung der Richtung der wirksamen Kraftkomponente lautet:

$$ml\ddot{\varphi} + mg \sin\varphi = 0. \tag{1}$$

Beschränkt man sich auf sehr kleine Ausschläge (streng genommen unendlich kleine), so kann man $\sin\varphi$ durch den Bogen φ ersetzen und erhält dann die typische Gleichung für ungedämpfte kleine Schwingungen:

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l}\varphi = 0. \tag{2}$$

Da es sich bei der hier betrachteten Pendelbewegung um ein mechanisches System mit **einem** Freiheitsgrad handelt, so läßt sich die Bewegungsgleichung auch aus dem Energiesatz allein ableiten, der aussagt, daß die Summe aus kinetischer Energie (lebendiger Kraft) und potentieller Energie (Energie der Lage) während der Bewegung konstant ist. Wie oben angegeben, ist die lineare Geschwindigkeit von P gleich $l\dot{\varphi}$ und daher die lebendige Kraft $\frac{m(l\dot{\varphi})^2}{2}$. Um die potentielle Energie anzugeben, muß man zunächst eine Lage festsetzen, für die sie Null sein soll. Wählt man als solche, wie es am natürlichsten ist, die Ruhelage des Pendels, bei der P seine tiefste Stelle einnimmt, so ist die potentielle Energie die Arbeit, die man aufwenden muß, um P von der tiefsten Stelle in die augenblickliche Lage zu befördern. Da bei dem Ausschlag φ sich der Punkt P um den Betrag $l(1\text{-}\cos\varphi)$ oberhalb der tiefsten Stelle befindet und da nur bei vertikalen Bewegungen gegenüber der Schwerkraft Arbeit zu leisten ist, so ist die potentielle Energie $mgl(1 - \cos\varphi)$ und die Bewegungsgleichung lautet daher:

$$\frac{m(l\dot{\varphi})^2}{2} + mgl(1 - \cos\varphi) = \text{Konst.} \tag{3}$$

Differenziert man diese Gleichung nach t, so kommt man auf die Gleichung (1) zurück. Der Energiesatz leistet daher bereits eine Integration dieser Gleichung.

Der allgemeine Charakter der pendelnden Bewegung ist uns aus täglichen Beobachtungen sehr geläufig. Entfernt man das Pendel um einen bestimmten Winkel φ_0 aus der Ruhelage und überläßt es dann sich selbst, so wird es in beschleunigter Bewegung in die Ruhelage zurückkehren, über diese hinausschwingen und auf der anderen Seite der Vertikalen in verzögerter Bewegung bis zum Ausschlag φ_0 ansteigen (Hingang). Darauf findet eine Umkehr der Bewegung statt, und es wiederholt sich der Rückgang der Bewegung in analoger Weise wie der Hingang, nur die Richtung der Bewegung ist geändert. Aus Hin- und Rückgang setzt sich eine volle Schwingung zusammen, die sich nun periodisch ununterbrochen wiederholt, wenn man von allen störenden Einflüssen absieht. Mit Rücksicht auf die Energie kann man also die pendelnde Bewegung dahin charakterisieren, daß bei ihr ein fortgesetzter periodischer Austausch zwischen kinetischer und potentieller Energie stattfindet, deren Summe konstant bleibt. Die Zeit eines Hin- oder Rückganges bezeichnet man als **Schwingungsdauer** des Pendels, die Zeit einer vollen Schwingung als **Periode**. Es wäre physikalisch konsequenter, mit der Periode zu rechnen, es ist aber allgemein üblich, die Schwingungsdauer anzugeben.

Die in (3) auf der rechten Seite auftretende Konstante kann man in einfacher Weise mit dem maximalen Ausschlag φ_0, der **Amplitude** der Pendelschwingung, in Beziehung

Digitized by Google

setzen. Da die Gleichung (3) in jedem Moment gilt, so muß sie auch gelten, wenn das Pendel den maximalen Ausschlag φ_0 erreicht und umkehrt. In diesem Augenblick ist aber $\dot\varphi = 0$ und $\varphi = \varphi_0$ und die Konstante hat daher den Wert $m g l (1 - \cos\varphi_0)$. Setzt man diesen Wert in (3) ein, so ergibt sich als Bewegungsgleichung:

$$\frac{l\dot\varphi^2}{2} + g(\cos\varphi_0 - \cos\varphi) = 0. \qquad (4)$$

Wenn man das Pendel in geeigneter Weise in Bewegung setzt, kann man es erreichen, daß es einen vollen Kreis beschreibt, also sich überschlägt. Diese Bewegungen, die nicht im gewöhnlichen Sinne als pendelnde Bewegungen zu bezeichnen sind, sollen hier nicht betrachtet werden, da für die praktischen Pendelbeobachtungen überhaupt nur kleine Ausschläge aus der Ruhelage in Betracht kommen.

1 b) Schwingungsdauer. Man kann die Schwingungsdauer des Pendels, wenn man sich auf unendlich kleine Schwingungen beschränkt, also die Gleichung (2) zugrunde legt, auf relativ elementarem Wege ermitteln. Man denke sich einen Kreis mit dem Radius $r = l\varphi_0$ um den Punkt M, in dem sich der Massenpunkt des Pendels in der Ruhelage befindet, beschrieben und einen horizontalen Durchmesser gezogen, dessen rechter Endpunkt A sei. Man denke sich nun, daß ein beweglicher Punkt Q zur Zeit $t = 0$ sich in A befindet und den Kreis mit der konstanten Winkelgeschwindigkeit ω durchläuft (Fig. 2), und betrachte die Bewegung, die der Punkt R, die Projektion von Q auf den horizontalen Durchmesser, ausführt. Setzt man $MR = x$, so ist $x = r\cos\omega t$ und daher die Geschwindigkeit von R $\dot x = -r\omega\sin\omega t$ und seine Beschleunigung $\ddot x = -r\omega^2\cos\omega t$. Es gilt daher

$$\ddot x + \omega^2 x = 0,$$

eine Gleichung, die mit (2) identisch wird, wenn wir $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ setzen und $x = l\varphi$. Der Punkt R wird daher beständig mit dem Massenpunkt des Pendels koinzidieren, wenn die Anfangsbedingungen übereinstimmen, wenn wir also annehmen, daß das Pendel zur Zeit $t = 0$ seinen größten Ausschlag auf der rechten Seite der Vertikalen erreicht. Voraussetzung ist natürlich stets, daß es sich um unendlich kleine Pendelschwingungen handelt, so daß man den Kreisbogen, auf dem sich der Massenpunkt des Pendels bewegt, als geradlinig (gleich dem horizontalen Durchmesser in Fig. 2) betrachten kann. Die Schwingungsdauer des Pendels ist nun offenbar gleich der Zeit, die der Punkt Q gebraucht, um den Halbkreis zu durchlaufen, also $\frac{\pi}{\omega}$ oder $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Man hat demnach für die Schwingungsdauer T eines Pendels bei unendlich kleinen Schwingungen die fundamentale Formel:

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad (5)$$

in der l die Pendellänge und g die Schwerebeschleunigung bedeutet.

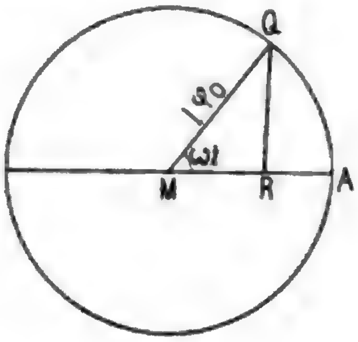


Fig. 2.

Dasselbe Resultat erhält man, wenn man die Gleichung (2) vollständig integriert, wie in der Theorie der kleinen Schwingungen gezeigt wird (vgl. den Artikel „Schwingende Bewegungen"). Ist zur Zeit $t = 0$ der Ausschlag $\varphi = \varphi_0$ und $\dot\varphi = 0$, so ergibt sich als Lösung von (2):

$$\varphi = \varphi_0 \cos\sqrt{\frac{g}{l}}\, t, \qquad (6)$$

wie man auch leicht durch Einsetzen verifizieren kann. Der Ausschlag des Pendels φ ist also eine periodische Funktion der Zeit mit der Periode $2\pi : \sqrt{\frac{g}{l}}$. Da die Schwingungsdauer, wie oben angegeben, gleich der Hälfte der Periode ist, ergibt sich für sie der Wert (5).

Ist die Schwingungsdauer des Pendels gleich 1 Sekunde, so bezeichnet man das Pendel als Sekundenpendel und seine Länge als Sekundenpendellänge L. Nach (5) gilt für $T = 1$:

$$L = \frac{g}{\pi^2}. \qquad (7)$$

Die Aufgaben, die Schwerebeschleunigung oder die Länge des Sekundenpendels zu ermitteln, sind daher identisch. Die Länge des Sekundenpendels beträgt ungefähr 1 m.

Von der Messung der Schwingungsdauer wird später die Rede sein.

1 c) Einfluß der Amplitude auf die Schwingungsdauer. Bei den Pendelbeobachtungen zum Zweck von Schwerkraftsmessungen genügt es nicht, die Schwingungen als unendlich klein zu betrachten. Es ist daher der Einfluß der Amplitude auf die Schwingungsdauer zu ermitteln, was

näherungsweise auf folgendem Wege geschehen kann.

Ersetzt man in der strengen Gleichung (1) $\sin\varphi$ durch den Anfang seiner Reihenentwickelung $\varphi - \frac{\varphi^3}{6}$ und schreibt zur Abkürzung n für $\sqrt{\frac{g}{l}}$, so erhält man die Gleichung:

$$\ddot{\varphi} + n^2\left(\varphi - \frac{\varphi^3}{6}\right) = 0 \qquad (8)$$

die um ein Glied genauer ist als die Gleichung (2) für unendlich kleine Schwingungen. Wir ergänzen nun die Lösung (6) dieser Gleichung durch ein Zusatzglied:

$$\varphi = \varphi_0 \cos mt + c\varphi_0^3 \cos mt \sin^2 mt$$

das die Ordnung φ_0^3 hat, indem wir durchweg jetzt die 4. Potenz des Ausschlags vernachlässigen; ein Glied mit φ_0^2 ist wegen der Symmetrie der Pendelschwingungen zu beiden Seiten der Vertikalen von vornherein fortgelassen. Dabei bedeuten m und c Konstante, die in geeigneter Weise bestimmt werden sollen. Wir bilden zu diesem Zweck durch Differentiation nach t:

$$\dot{\varphi} = -m\varphi_0(1 + c\varphi_0^2)\sin mt + 3mc\varphi_0^3 \sin mt \cos^2 mt$$

$$\ddot{\varphi} = -m^2\varphi_0(1 - 2c\varphi_0^2)\cos mt - 9m^2c\varphi_0^3 \cos mt \sin^2 mt.$$

Setzt man diese Werte in (8) ein und setzt dann unter Vernachlässigung von φ_0^4 die Koeffizienten von $\cos mt$ und $\cos mt \sin^2 mt$ für sich gleich Null, so erhält man für m und c die beiden Gleichungen:

$$m^2(1 - 2c\varphi_0^2) = n^2\left(1 - \frac{\varphi_0^2}{6}\right)$$

$$c(9m^2 - n^2) = \frac{n^2}{6}.$$

Da m^2 sich von n^2 nur um Größen von der Ordnung φ^2 unterscheidet, kann man in der zweiten dieser Gleichungen $m^2 = n^2$ setzen und erhält dann $c = \frac{1}{48}$. Setzt man diesen Wert in die erste Gleichung ein, so folgt durch Wurzelausziehen und Division:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{n}\left(1 + \frac{\varphi_0^2}{16}\right).$$

Da nun nach unserem Ansatz zur Zeit $t = 0$ der Ausschlag $\varphi = \varphi_0$ und $\dot{\varphi} = 0$ ist, so hat die betrachtete Schwingung die Amplitude φ_0 und die Schwingungsdauer T bei dieser Amplitude ist:

$$T = \frac{\pi}{m} = \frac{\pi}{n}\left(1 + \frac{\varphi_0^2}{16}\right),$$

während $T_0 = \frac{\pi}{n}$ die Schwingungsdauer bei unendlich kleiner Amplitude ist. Durch Division hat man umgekehrt:

$$T_0 = T\left(1 - \frac{\varphi_0^2}{16}\right) = T - T.\frac{\varphi_0^2}{16}.$$

Man muß daher zu der bei der Amplitude φ_0 beobachteten Schwingungsdauer in erster Annäherung den Betrag $-T.\frac{\varphi_0^2}{16}$, die Reduktion auf unendlich kleine Amplitude, hinzufügen, um die Schwingungsdauer bei unendlich kleiner Amplitude zu erhalten. Diese Annäherung genügt für alle praktischen Beobachtungen, da man heute über Amplituden von 30′ kaum noch hinausgeht.

Der genaue Wert der Schwingungsdauer bei der Amplitude φ_0 wird durch ein elliptisches Integral dargestellt:

$$T = \frac{1}{n}\int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{\sin^2\frac{\varphi_0}{2} - \sin^2\frac{\varphi}{2}}} = \frac{1}{n}\int_0^{\pi} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - \sin^2\frac{\varphi_0}{2}\sin^2\frac{\psi}{2}}},$$

auf dessen Herleitung und Berechnung hier nicht weiter eingegangen werden soll.

1d) Zykloidenpendel. Die Aenderungen der Schwingungsdauer eines Pendels bei wechselnder Amplitude legen die theoretisch interessante Frage nahe, ob es möglich sei, die Aufhängung des Pendels so zu modifizieren, daß die Schwingungsdauer von der Amplitude unabhängig wird. Chr. Huygens hat diese Frage in bejahendem Sinne beantwortet, indem er das „Zykloidenpendel“ konstruierte, das allerdings kein Pendel in dem früher definierten engeren Sinne ist. Man denke sich einen Massenpunkt P von der Masse m an einem gewichtslosen, unausdehnbaren und vollkommen biegsamen Faden im Punkte O aufgehängt. Seitlich von O mögen sich zwei Backen von Zykloidengestalt (Fig. 3) befinden, an die sich der Pendel-

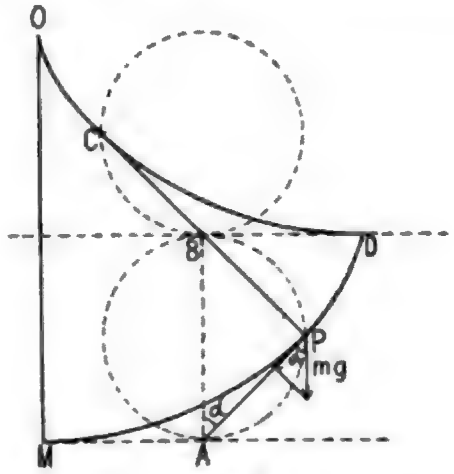


Fig. 3.

faden bei seinen Schwingungen anlegt. Ist r der Radius des Kreises, der durch Abrollen auf einer horizontalen Geraden die Leitzykloide erzeugt, so sei die Pendellänge $l = 4$ r. Auf Grund bekannter Eigenschaften der Zykloiden ist es leicht nachzuweisen, daß ein solches Pendel eine von der Amplitude unabhängige Schwingungsdauer hat; man

muß zu diesem Zweck offenbar zeigen, daß seine Schwingungen einer analogen Gleichung folgen wie die unendlich kleinen Schwingungen des gewöhnlichen Pendels (Gleichung (2)).

Der Massenpunkt P beschreibt bei seiner Bewegung die Evolvente der Leitzykloide, also eine ihr kongruente Zykloide. Bezeichnet man mit M ihre tiefste Stelle und nennt den Zykloidenbogen MP: $l\varphi$, so ist die Beschleunigung von P in der Richtung der Tangente $l\ddot{\varphi}$. Andererseits ist die wirksame Kraftkomponente $mg\cos\alpha$, wenn man mit α den Winkel zwischen der Zykloidentangente und der Vertikalen in P bezeichnet. Denkt man sich den erzeugenden Kreis in der Lage gezeichnet, in der er den Punkt P liefert und nennt seinen tiefsten und höchsten Punkt A und B, so geht die Tangente in P durch den Punkt A und es ist daher $\cos\alpha = \frac{PA}{2r}$. Da andererseits PA gleich dem halben Zykloidenbogen MP, also gleich $\frac{l\varphi}{2}$ ist, so ergibt sich als wirksame Kraftkomponente $mg\varphi$. Daß PA gleich dem halben Zykloidenbogen MP ist, sieht man am einfachsten, wenn man die entsprechende Tatsache bei der Leitzykloide betrachtet. Nennt man den Punkt, in dem der Pendelfaden die Leitzykloide verläßt, C, so liegen C, B, P in gerader Linie und es ist CB = BP. Da CP gleich dem Zykloidenbogen CD sein muß, ist CB die Hälfte davon. Genau entsprechend ist AP die Hälfte des Zykloidenbogens MP. Für die Bewegung des Pendels ergibt sich also die Gleichung

$$l\ddot{\varphi} + g\varphi = 0,$$

die genau mit der Gleichung für die unendlich kleinen Schwingungen des gewöhnlichen Pendels übereinstimmt. Für sie gilt daher auch die durch die Gleichung (6) angegebene Lösung, die uns zeigt, daß die Periode der Bewegung von der Größe des Ausschlags unabhängig ist.

Zu praktischen Beobachtungen ist, soweit mir bekannt ist, das Zykloidenpendel nicht benutzt, da die Berechnung der „Amplitudenreduktion" keinen irgendwie in Betracht kommenden Fehler verursacht.

2. Das physische Pendel. 2a) Reduzierte Pendellänge, Schwingungsmittelpunkt. Unter einem physischen Pendel verstehen wir einen festen Körper, der um eine im Raume und im Körper feste Achse frei drehbar ist; als Kraft soll abgesehen von störenden Einflüssen nur die Schwerkraft wirken. Um die Bewegungsgleichung des physischen Pendels abzuleiten, geht man am einfachsten wieder vom Energieprinzip aus. Es sei M die Masse des Pendels und S der Schwerpunkt; die feste Drehachse möge senkrecht zur Zeichenebene (Fig. 4) stehen und diese in O treffen; die Länge OS sei h. Bildet OS mit der Vertikalen in O den Winkel φ, so kann man offenbar die Lage des Pendels durch Angabe dieses Winkels φ charakterisieren. Ist das Pendel in Ruhe, so hat φ den Wert Null, weil dann der Schwerpunkt S vertikal unter dem Drehpunkt O liegt.

Ist nun dm ein Massenelement des Pendels, das von der Drehachse den Abstand r hat, so ist der von dem Massenelement herrührende Teil der lebendigen Kraft $\frac{(r\dot{\varphi})^2}{2}$ dm und demnach die gesamte lebendige Kraft des Pendels

$$\int \frac{(r\dot{\varphi})^2}{2}\,dm = J.\frac{\dot{\varphi}^2}{2},$$

wenn man mit $J = \int r^2 dm$ das Trägheitsmoment des Pendels in bezug auf die Drehachse bezeichnet. Die Integrationen sind über den ganzen Pendelkörper zu erstrecken. Die potentielle Energie ist die Arbeit, die man zu leisten hat, um den Pendelkörper aus der Ruhelage in die augenblickliche Lage zu heben. Man kann sich dabei die gesamte Masse M im Schwerpunkt konzentriert denken. Da der Schwerpunkt S, wenn das Pendel den Ausschlag φ macht, um den Betrag h $(1 - \cos\varphi)$ höher liegt als in der Ruhelage, so ist die potentielle Energie: Mgh $(1 - \cos\varphi)$. Es ergibt sich also nach dem Energieprinzip:

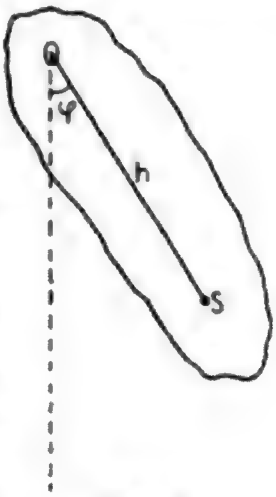


Fig. 4.

$$J.\frac{\dot{\varphi}^2}{2} + Mgh(1 - \cos\varphi) = \text{Konst.}$$

Bezeichnet man den größten Ausschlag des Pendels mit φ_0, so hat im Augenblick dieses Ausschlags $\dot{\varphi}$ den Wert Null und für die Konstante der letzten Gleichung ergibt sich demnach der Wert $Mgh(1 - \cos\varphi_0)$, so daß man die Gleichung auch schreiben kann:

$$\frac{J\dot{\varphi}^2}{2} + Mgh(\cos\varphi_0 - \cos\varphi) = 0.$$

Daraus erhält man durch Differentiation nach t:

$$J\ddot{\varphi} + Mgh\sin\varphi = 0.$$

Diese Gleichung wird aber mit der für das mathematische Pendel (Gleichung 1) identisch, wenn man als Länge des mathematischen Pendels

$$l = \frac{J}{Mh}$$

wählt. Das physische Pendel schwingt also genau wie ein mathematisches Pendel von der Länge $\frac{J}{Mh}$. Man nennt diese Länge die reduzierte Länge des physischen Pendels. Trägt man sie auf OS von O aus in der Richtung nach S hin ab, so erhält man den

Digitized by Google

Punkt O', der als Schwingungsmittelpunkt bezeichnet wird. Er schwingt offenbar genau so, als ob er allein vorhanden wäre; seine Bewegung wird durch seinen Zusammenhang mit den übrigen Massenelementen des Pendelkörpers nicht beeinflußt.

2b) Konjugierte Drehachsen, Reversionspendel. Denkt man sich durch den Schwingungsmittelpunkt eine parallele Drehachse zur ursprünglichen Achse konstruiert, so schwingt das Pendel, wie wir jetzt zeigen wollen, um die neue Achse mit derselben Schwingungsdauer wie um die alte. Wir bezeichnen der Symmetrie wegen den ursprünglichen Drehpunkt mit O_1 und den zugehörigen Schwingungsmittelpunkt mit O_2, ferner die Strecken O_1S und O_2S mit h_1 und h_2 (Fig. 5). Denkt man sich dann auch durch den Schwerpunkt S eine parallele Achse zu den beiden betrachteten Achsen konstruiert und nennt das Trägheitsmoment des Pendels für diese Achse J_s, so haben nach einem bekannten Satze die Trägheitsmomente für die Achsen durch O_1 und O_2 resp. die Werte:

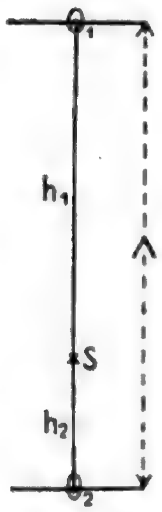


Fig. 5.

$$J_1 = J_s + Mh_1^2,\quad J_2 = J_s + Mh_2^2.$$

Es sind daher die reduzierten Pendellängen für die Schwingungen um O_1 und O_2:

$$l_1 = \frac{J_s + Mh_1^2}{Mh_1} \quad l_2 = \frac{J_s + Mh_2^2}{Mh_2}.$$

Daraus folgt aber: $l_1h_1 - l_2h_2 = h_1^2 - h_2^2$. Nach Annahme ist nun $l_1 = h_1 + h_2$. Setzt man diesen Wert in die letzte Gleichung ein, so folgt

$$l_2 = h_1 + h_2 = l_1.$$

Die Beziehung der beiden Punkte O_1 und O_2 ist daher eine reziproke: ebenso wie O_2 der Schwingungsmittelpunkt zu O_1 ist, ist auch O_1 der Schwingungsmittelpunkt zu O_2. Man nennt daher die durch O_1 und O_2 konstruierten parallelen Achsen, deren Ebene den Schwerpunkt enthält, konjugierte Achsen.

Es ist wichtig, daß der über die konjugierten Achsen bewiesene Satz eine gewisse Umkehrung gestattet, die folgendermaßen lautet: Hat ein Pendel für zwei parallele Achsen, deren Ebene den Schwerpunkt enthält und die ungleichen Abstand vom Schwerpunkt haben, gleiche Schwingungsdauer, so ist die reduzierte Pendellänge gleich dem Abstand der beiden Achsen. Behalten wir die obigen Bezeichnungen bei, so ist jetzt nach Voraussetzung:

$$l_1 = l_2 = \frac{J_s + Mh_1^2}{Mh_1} = \frac{J_s + Mh_2^2}{Mh_2}.$$

Daraus folgt: $J_s(h_1 - h_2) = Mh_1h_2(h_1 - h_2)$. Ist daher h_1 ungleich h_2, so muß $J_s = Mh_1h_2$ sein und demnach:

$$l_1 = l_2 = h_1 + h_2 = \varLambda,$$

wenn wir mit $\varLambda$ den Abstand der beiden Drehachsen bezeichnen. Ist $h_1 = h_2$, so ist unter allen Umständen $l_1 = l_2$, und man kann dann den Schluß $l_1 = l_2 = \varLambda$ nicht mehr machen.

Man bezeichnet ein Pendel, das um zwei konjugierte Drehachsen schwingen kann, als Reversionspendel. Bezeichnet man die Schwingungsdauer, die für beide Achsen gleich ist, mit T, so gilt: $T = \pi\sqrt{\frac{\varLambda}{g}}$. Man kann daher durch Messung der Schwingungsdauer T und des Achsenabstandes $\varLambda$ die Schwerebeschleunigung g bestimmen, worauf wir später noch zurückkommen. Für die Länge des Sekundenpendels L gilt offenbar: $L = \frac{\varLambda}{T^2}$.

3. Schwerkraftsmessungen mit dem Pendel. 3a) Allgemeines. Man kann die Berechnung eines Naturvorgangs selten in voller Strenge durchführen, weil stets eine Menge Umstände mitwirken, die man nicht kennt. So haben z. B. Massentransporte an irgendeiner Stelle der Erde theoretisch Einfluß auf die Bewegungen eines Pendels an einem anderen Erdorte. Wenn man diesen Einfluß trotzdem ohne weiteres vernachlässigt, so geschieht dies, weil auch die Beobachtungen der Pendelbewegungen, wie alle Beobachtungen, infolge der Unvollkommenheit unserer Sinneswahrnehmungen Fehlern unterworfen sind, und weil der genannte Einfluß weit unterhalb der Genauigkeit der Pendelbeobachtungen liegt. Infolge dieser unvermeidlichen Ungenauigkeit aller Beobachtungen hat es auch keinen Zweck, die Theorie erheblich genauer zu gestalten, als es die Beobachtungsgenauigkeit verlangt. Um aber beurteilen zu können, was zu vernachlässigen ist und was nicht, muß von vornherein bekannt sein, welche Genauigkeit bei den Beobachtungen erreicht werden kann und soll. In dieser Beziehung sei bezüglich der Schwerkraftsmessungen bemerkt, daß die Bestimmung von g, die Kühnen und Verfasser im geodätischen Institut in Potsdam ausgeführt haben und die wohl als die augenblicklich genaueste gelten kann, eine geschätzte Unsicherheit von $3.10^{-6}g$ hat. Die Genauigkeit der Berechnung pflegt man meistens etwas größer zu nehmen als die Beobachtungsgenauigkeit, weil es im allgemeinen erheblich leichter ist, die erste zu steigern als die zweite. Jedenfalls wird es

Digitized by Google

aber nach dem Angegebenen genügen, die Theorie der Pendelbewegung so genau zu entwickeln, daß g mit einer Genauigkeit von etwa 5.10^{-7}g berechnet werden kann.

Für ein mathematisches Pendel ist in 1b der Zusammenhang zwischen g, seiner Schwingungsdauer T und Länge l ermittelt (Formel (5)):

$$g = \frac{\pi^2 . l}{T^2}.$$

Hätte man daher ein mathematisches Pendel, so wären zur Bestimmung von g zwei Präzisionsbeobachtungen 1. Ordnung nötig, nämlich eine Zeitmessung zur Ermittelung von T und eine Längenmessung zur Ermittelung von l. Es genügt offenbar, wenn man beide Größen mit einer relativen Genauigkeit von $\frac{1}{10^7}$ berechnet, wie es üblich ist. Für das physische Pendel tritt an Stelle von l die reduzierte Länge $\frac{J}{Mh}$ (vgl. 2a), die durch direkte Messung nicht mit der erforderlichen Genauigkeit bestimmt werden kann, während dies für die Schwingungsdauer T möglich ist. Es ist deshalb von Wichtigkeit, daß man das Verhältnis der Schwerebeschleunigungen an zwei Erdorten lediglich durch Beobachtungen der Schwingungsdauer ermitteln kann. Man unterscheidet in dieser Richtung zwischen absoluten und relativen Schwerkraftsmessungen. Jene haben den Zweck, g an einer Zentralstation absolut zu bestimmen, während bei diesen nur das Verhältnis der Schwerebeschleunigung an einem Erdorte zu der auf der Zentralstation ermittelt wird. Man benutzt zu den relativen Messungen sogenannte invariable Pendel (meistens Halbsekundenpendel), die möglichst unverändert von Station zu Station transportiert werden. Ist g_z die Schwerebeschleunigung auf der Zentralstation und T_z die Schwingungsdauer des invariablen Pendels daselbst und sind g_i und T_i die entsprechenden Größen für irgendeine Station, so gilt offenbar, wenn man die reduzierte Pendellänge als unverändert betrachten kann:

$$g_i = g_z . \left(\frac{T_z}{T_i}\right)^2.$$

Zur Kontrolle der Invariabilität werden die Beobachtungen an der Zentralstation nach Schluß der Beobachtungsreihe wiederholt.

3b) Messung der Schwingungsdauer. Um die Schwingungsdauer eines Pendels zu ermitteln, ist das Verhältnis der Zeitdauer einer Schwingung zur gewählten Zeiteinheit, der mittleren Zeitsekunde, zu bestimmen. Man benutzt dabei meistens eine astronomische Pendeluhr, indem man die Pendelschwingungen mit denen des Uhrpendels vergleicht. Der beste Weg, um diesen Vergleich durchzuführen, ist wohl die Methode der Koinzidenzbeobachtungen, die mit der Benutzung des Nonius bei Längenmessungen eine gewisse Verwandtschaft aufweist. Die Methode setzt voraus, daß die Schwingungsdauer des zu untersuchenden Pendels mit der des Uhrpendels nahezu übereinstimme oder daß sich wenigstens ihr Verhältnis in kleinen Zahlen wie 1:2 oder 2:3 und ähnlich ausdrücken lasse. Man kann allerdings die Methode auch anwenden, wenn diese Voraussetzung nicht erfüllt ist; aber ihr eigentlicher Vorteil geht dann fast ganz verloren. Man versteht nun unter Koinzidenz den Moment, wo beide Pendel gleichzeitig durch die Ruhelage gehen (oder allgemeiner wo sie eine vorgeschriebene Phasendifferenz haben). Es möge der Einfachheit halber angenommen werden, daß das Uhrpendel und das zu untersuchende Pendel annähernd gleiche Schwingungsdauer haben und zwar das letzte die etwas kürzere. Beobachtet man dann zwei aufeinanderfolgende Koinzidenzmomente, so wird, wenn das Uhrpendel in der Zwischenzeit n Schwingungen gemacht hat, das zu untersuchende Pendel n + 1 gemacht haben. Seine Schwingungsdauer ist also $\frac{n}{n+1}$. Allgemein ergibt sich, wenn man mit c das „Koinzidenzenintervall" bezeichnet und beide Pendel näherungsweise gleiche Schwingungsdauer haben:

$$T = \frac{c}{c \pm 1},$$

wobei das obere oder untere Zeichen gilt, je nachdem das Uhrpendel längere oder kürzere Schwingungszeit hat als das zu untersuchende Pendel. Man kann auch angenäherte Koinzidenzen beobachten. Befindet sich bei zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen des Uhrpendels durch die Ruhelage das Versuchspendel das erste Mal kurz vor, das zweite Mal kurz hinter dem Uhrpendel, so wird man den Koinzidenzmoment linear interpolierend zwischen die beiden Durchgänge des Uhrpendels legen, obwohl es sich eigentlich dann um keine Koinzidenz handelt. Praktisch wird immer in dieser Weise beobachtet.

Um zu wissen, wie genau man das Koinzidenzenintervall kennen muß, bilden wir zu der letzten Formel die zugehörige Differentialformel:

$$dT = \pm \frac{1}{(c \pm 1)^2} dc \text{ oder } dc = \pm (c \pm 1)^2 . dT.$$

Nimmt man, um ein numerisches Beispiel zu geben, für ein Sekundenpendel c annähernd gleich 200 sec, so erhält man dc = 0,004 sec für dT = 1.10^{-7} sec. Man muß also in diesem Falle das Koinzidenzenintervall auf $^4/_{1000}$ sec genau kennen, um die Schwingungsdauer auf eine zehnmilliontel Sekunde genau zu erhalten.

Die praktische Durchführung der Koinzidenzenmethode wird prinzipiell am ein-

Digitized by Google

fachsten, wenn man beide Pendel hintereinander aufstellt und die Koinzidenzen in geeigneter Weise optisch beobachtet. Um den Vorteil zu haben, daß die Uhr auch in einem anderen Raume als dem Beobachtungsraum stehen kann, hat man besondere Apparate, „Koinzidenzapparate" konstruiert, die von der Uhr elektrisch getrieben werden. Es würde aber zu weit führen, hier auf Einzelheiten einzugehen.

Man kann auch durch direkte Beobachtung von Durchgängen des Versuchspendels durch seine Ruhelage die Schwingungsdauer ermitteln, am bequemsten indem man die Durchgänge elektrisch auf einem Chronographen registriert, auf dem gleichzeitig die Uhr Zeitmarken gibt. Da zu einer genügend genauen Bestimmung der Schwingungsdauer immer mehrere tausend Schwingungen beobachtet werden müssen, kann man diese selbstverständlich nicht abzählen. Man verfährt in der Weise, daß man zunächst etwa ein Dutzend Schwingungen registriert, darauf nach einigen Minuten nochmals einen Satz von Schwingungen und schließlich am Ende der Beobachtungszeit einen Schlußsatz. Man zählt nun nur die Schwingungen des ersten Satzes ab und rechnet aus ihnen eine angenäherte Schwingungsdauer aus. Mit Hilfe dieser bestimmt man die Anzahl Schwingungen zwischen dem 1. und 2. Satz, die sich so genau als ganze Zahl ergeben muß, daß kein Zweifel möglich ist. Auf Grund dieser Zahl berechnet man dann aus dem ersten und zweiten Satz einen genaueren Wert für die Schwingungsdauer, mit seiner Hilfe die Anzahl der Schwingungen zwischen Anfangs- und Schlußsatz und daraus schließlich dann die genaue Schwingungsdauer. In dieser Weise angewandt ist das direkte Verfahren auch ganz bequem.

Wie schon oben angegeben, ist eine direkte Messung der reduzierten Pendellänge nicht mit genügender Genauigkeit ausführbar. Man muß zu diesem Zweck besondere Beobachtungsmethoden anwenden, von denen jetzt die Rede sein soll.

3c) Bessels Methode zweier Fadenpendel. Der Idee des mathematischen Pendels kommt am nächsten das Fadenpendel, das aus einem dünnen Metallfaden besteht, an dem unten eine schwere Kugel befestigt ist. Bei diesem Apparat bietet das Vorhandensein des Metallfadens keine Schwierigkeit, weil bei seiner geringen Masse die Korrektion, die seinetwegen anzubringen ist, nur klein ist und darum genau genug aus dem Gewicht und den Abmessungen des Fadens bestimmt werden kann. Aber selbst wenn man den Faden als masselos betrachtet, ist es nicht möglich, bei dem Fadenpendel durch eine direkte Messung die reduzierte Pendellänge mit genügender Genauigkeit zu ermitteln, weil weder der Schwerpunkt der Kugel noch der Drehpunkt des Pendels genügend genau fixiert werden können. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, hat Bessel eine Differenzenmethode benutzt. Er nahm ein Fadenpendel von gewisser Länge, bestimmte die Schwingungsdauer, wickelte dann den Aufhängefaden auf und verkürzte dadurch die Länge um einen sehr genau meßbaren Betrag, der bei Bessel 1 Toise betrug; darnach wurde dann die Schwingungsdauer des verkürzten Pendels ermittelt.

Die praktische Ausführung gestaltete Bessel so, daß er das Fadenpendel zunächst so lang machte, daß die Kugel unten eine polierte Metallplatte gerade berührte. Auf diese Platte setze er dann seinen Endmaßstab von 1 Toise Länge und verkürzte den Pendelfaden so weit, daß die Pendelkugel gerade die obere Endfläche des Maßstabs berührte. Um zu zeigen, daß man mit dieser Methode zum Ziel kommt, sei der Abstand des Kugelschwerpunkts vom Drehpunkt h_1 und h_2 vor resp. nach der Verkürzung. Bezeichnet man dann das Trägheitsmoment der Pendelkugel für eine zur Drehachse parallele Achse durch den Kugelschwerpunkt mit J_0, so erhält man, wenn man vom Einfluß des Pendelfadens, der leicht als Korrektion berücksichtigt werden kann, absieht, für die reduzierten Pendellängen in beiden Fällen die Werte:

$$l_1 = \frac{J_0 + h_1^2 M}{M h_1} = \frac{J_0}{M h_1} + h_1; \quad l_2 = \frac{J_0}{M h_2} + h_2$$

$$\text{und daher } l_1 - l_2 = (h_1 - h_2)\left(1 - \frac{J_0}{M h_1 h_2}\right).$$

Die Differenz $h_1 - h_2$ wird, wie oben angegeben, durch eine Präzisionsmessung 1. Ordnung bestimmt; für den Bruch $\frac{J_0}{M h_1 h_2}$ genügt aber schon, da er neben 1 klein ist, eine geringe relative Genauigkeit. Bezeichnet man den Kugelradius mit r, so erhält, da $J_0 = {}^2/_5 r^2 M$, der Bruch den Wert $\frac{2r^2}{5 h_1 h_2}$. Ist daher etwa $r = 3$ cm, $h_1 = 100$ cm, $h_2 = 290$ cm, so wird der genannte Bruch etwa gleich 0,00012. Es genügt also für ihn vollständig eine Genauigkeit von 1 Promille, die durch direkte Messung leicht erreichbar ist. Hat man aber $l_1 - l_2$ ermittelt, so folgt, wenn man die beiden beobachteten Schwingungsdauern mit T_1 und T_2 bezeichnet, aus $g T_1^2 = \pi^2 l_1$ und $g T_2^2 = \pi^2 l_2$ die Beziehung:

$$g(T_1^2 - T_2^2) = \pi^2 (l_1 - l_2),$$

mit deren Hilfe g zu berechnen ist.

3d) Benutzung des Reversionspendels. Ein anderer Weg, die Schwierigkeit bei der Bestimmung der reduzierten Pendellänge zu überwinden, besteht in der Benutzung des Reversionspendels. Bezeichnet man mit $\varDelta$ den Abstand der beiden Drehachsen des Reversionspendels und mit T die gemeinsame Schwingungsdauer, so gilt nach 2b:

$$g = \pi^2 \cdot \frac{\varDelta}{T^2}.$$

Digitized by Google

Bringt man daher in einem Pendel zwei parallele Schneiden in ungleichem Abstande vom Schwerpunkt an, deren Ebene den Schwerpunkt enthält, und sorgt dafür, daß die Schwingungsdauer für beide Schneiden die gleiche wird, so läßt sich durch Messung dieser Schwingungsdauer und des Schneidenabstandes g ermitteln. So prinzipiell einfach dies Verfahren auch ist, wird es doch in praxi nicht in dieser Form angewandt. Es würde nämlich äußerst zeitraubend und lästig sein, die Schwingungsdauern auf einen Betrag von 1.10^{-7} sec abzustimmen und außerdem würde die einmal erreichte Abstimmung bei Temperaturänderungen wieder verloren gehen. Man verzichtet deshalb ganz auf die genaue Gleichheit beider Schwingungsdauern und läßt von vornherein eine Differenz von bestimmter Größenordnung zu. Wir wollen zeigen, daß auch dann noch das Reversionspendel unter Zuhilfenahme einer kleinen Zusatzmessung zur Bestimmung von g brauchbar bleibt. Bezeichnet man mit l_1, T_1, h_1 und l_2, T_2, h_2 resp. die reduzierte Pendellänge, Schwingungsdauer und Schwerpunktsabstand für die beiden parallelen Drehachsen und mit J_s das Trägheitsmoment des Pendels für eine durch den Schwerpunkt gehende zu den Drehachsen parallele Achse, so gilt:

$$l_1 = T_1^2 . \frac{g}{\pi^2} = \frac{J_s + Mh_1^2}{Mh_1},$$

$$l_2 = T_2^2 . \frac{g}{\pi^2} = \frac{J_s + Mh_2^2}{Mh_2}.$$

Nennt man nun die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels, dessen Länge gleich dem Schneidenabstand $\varDelta = h_1 + h_2$ des Reversionspendels ist, T, so daß

$$T^2 = \frac{\pi^2}{g} . \varDelta,$$

so ist unsere Aufgabe offenbar auf die Ermittlung von T zurückgeführt. Aus den obigen beiden Gleichungen folgt nun:

$$\frac{g}{\pi^2}(h_1T_1^2 - h_2T_2^2) = h_1^2 - h_2^2 \quad \text{und daher}$$

$$T^2 = \varDelta . \frac{h_1T_1^2 - h_2T_2^2}{h_1^2 - h_2^2} = \frac{h_1T_1^2 - h_2T_2^2}{h_1 - h_2}.$$

Da es nach dieser Formel scheinen könnte, als ob man h_1 und h_2 ebenso genau kennen müßte wie $\varDelta$, ist sie noch umzuformen unter Benutzung des Umstandes, daß $\varDelta T = T_1 - T_2$ eine kleine Größe sein soll. Setzt man deshalb $T_2 = T_1 - \varDelta T$ ein und vernachlässigt $(\varDelta T)^2$, so folgt:

$$T^2 = T_1^2 + 2T_1 . \varDelta T . \frac{h_2}{h_1 - h_2}$$

und durch Wurzelausziehen:

$$T = T_1 + \frac{T_1 - T_2}{h_1 - h_2} . h_2$$

oder auch in mehr symmetrischer Gestalt:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} + \frac{T_1 - T_2}{h_1 - h_2} . \frac{\varDelta}{2}.$$

Man erkennt aus den letzten beiden Formeln, die bei den praktischen Beobachtungen zugrunde gelegt werden, daß, wenn etwa $\varDelta T = T_1 - T_2 < 1000.10^{-7}$ sec ist, für $h_1 - h_2$ eine Genauigkeit von 1 Promille genügt. Mit dieser Genauigkeit läßt sich aber die Lage des Pendelschwerpunkts leicht ermitteln, indem man etwa das Pendel in horizontaler Lage auf einer horizontalen Achse ausbalanziert.

4. Störende Einflüsse bei der Pendelbewegung. Bei allen unseren bisherigen Entwickelungen war vorausgesetzt, daß gar keine störenden Einflüsse auf die Pendelbewegung wirken; wir hatten insbesondere angenommen, daß der Pendelkörper starr und unveränderlich sei, daß er sich um eine im Körper und im Raume feste Achse dreht und daß außer der Schwerkraft keine andere Kraft auf ihn wirkt. Keine von diesen Voraussetzungen ist genügend genau erfüllt: der Pendelkörper erleidet durch Temperaturwechsel Veränderungen und durch die bei der Bewegung angreifenden „verlorenen Kräfte" elastische Verbiegungen; die Achse, um die er sich dreht, ist weder im Körper fest noch im Raume, selbst wenn man von der Erdbewegung ganz absieht; endlich greifen außer der Schwerkraft noch Kräfte an, die von der umgebenden Luft und der Aufhängungsvorrichtung herrühren. Es ist daher jetzt der Einfluß dieser Störungen zu erörtern, wobei wir uns allerdings auf die notwendigsten Angaben beschränken müssen.

4a) Temperatur. Der Einfluß der Temperatur kann als linear gelten.

Bezeichnet man die Pendellänge und Schwingungsdauer bei den Temperaturen ϑ^0 und 0^0 resp. mit l, T und l_0, T_0, so gilt, wenn man mit β den Ausdehnungskoeffizienten des Pendelmaterials (meistens Messing) bezeichnet: $l = l_0(1 + \beta\vartheta)$. Daraus folgt:

$$T = \pi\sqrt{\frac{l_0(1+\beta\vartheta)}{g}} = \pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}\left(1 + \frac{\beta}{2}\vartheta\right) = T_0\left(1 + \frac{\beta}{2}\vartheta\right).$$

Setzt man $T_0 = 1$ sec, $\beta = 19.10^{-6}$ für Messing, so ergibt sich pro Grad eine Aenderung der Schwingungsdauer von 95.10^{-7} sec. Man muß also bei der angestrebten Genauigkeit die Temperatur auf hundertstel Grade ablesen. Ferner ist notwendig, daß der Beobachtungsraum weder einen zu großen zeitlichen noch örtlichen Temperaturgradienten aufweist. Um die Schwierigkeiten der Temperaturbestimmung möglichst zu vermindern, hat man besondere Pendelthermometer konstruiert, deren äußere Hülle in Gestalt und Material dem Pendel gleicht: in diese Hülle sind dann die eigentlichen Thermometer eingelassen. Ist bei Beobachtungen mit dem Reversionspendel ein vertikaler Temperaturgradient vorhanden, so kann man nicht mit dem

Mittel der Temperaturen oben und unten rechnen, weil der Schwerpunkt des Pendels nicht in der Mitte liegt, die Massen also unsymmetrisch zur Mitte verteilt sein müssen. Es ist vielmehr an dem Mittel noch eine kleine Korrektion anzubringen, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

Man berechnet den Temperaturkoeffizienten eines Pendels, d. h. die Aenderung der Schwingungsdauer pro Grad, nicht aus dem Ausdehnungskoeffizienten des Pendelmaterials, sondern ermittelt ihn empirisch durch Beobachtungen bei hoher und niedriger Temperatur.

4b) Dämpfung. Bei der Betrachtung der ungestörten Schwingungen eines Pendels in 1a hatte sich ergeben, daß dieselben mit konstanter Amplitude erfolgen. Bereits eine rohe Beobachtung lehrt, daß dies in Wirklichkeit nicht der Fall ist, sondern daß die Amplitude schon nach kurzer Zeit merklich abnimmt. Die Ursache davon sind Reibungskräfte, die an der Schneide oder sonstigen Aufhängungsvorrichtung ihren Sitz haben, und der Widerstand der umgebenden Luft. Es wird durch die Wirkung dieser Kräfte dem Pendel dauernd Energie entzogen, die in letzter Instanz in Wärme umgesetzt wird. Die Amplitude der Schwingungen nimmt daher dauernd ab, die Schwingungen werden gedämpft. Denn die Amplitude kann als Maß für die der Pendelbewegung innewohnende Energie angesehen werden, weil im Moment der Umkehr der Bewegung die lebendige Kraft Null ist und deshalb die gesamte Energie durch die Größe des Ausschlags bestimmt wird.

Bei kleiner Amplitude und darum kleiner Geschwindigkeit kann man die Widerstandskräfte proportional der Geschwindigkeit setzen, man erhält dann die Gleichung der gedämpften kleinen Pendelschwingungen:

$$\ddot{\varphi} + 2\varkappa\dot{\varphi} + \frac{g}{l}\varphi = 0, \qquad (1)$$

in der $\varkappa$ eine positive Konstante bedeutet, die als Dämpfungskoeffizient bezeichnet wird. Will man die Abnahme der Energie in Erscheinung setzen, so muß man (1) mit $\dot{\varphi}$ multiplizieren und integrieren, wodurch sich ergibt:

$$\frac{\dot{\varphi}^2}{2} + \frac{g}{l}\left(\frac{\varphi^2}{2} - \frac{\varphi_0^2}{2}\right) = -2\varkappa\int_0^t \dot{\varphi}^2 dt,$$

wenn man annimmt, daß zur Zeit $t = 0$ der Ausschlag $\varphi = \varphi_0$ und $\dot{\varphi} = 0$ sei. Die rechte Seite der letzten Gleichung stellt, abgesehen von einem konstanten Faktor, den Energieverlust der Pendelbewegung während der Zeit t vor.

Wie in der Theorie der kleinen Schwingungen gezeigt wird (vgl. den Artikel „Schwingende Bewegungen"), hat die Gleichung (1), wenn man die Zeit von einem Durchgang des Pendels durch die Ruhelage rechnet, die Lösung:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\varkappa t} \sin t\sqrt{\frac{g}{l} - \varkappa^2}. \qquad (2)$$

Die Schwingungsdauer des Pendels wird also $\pi : \sqrt{\frac{g}{l} - \varkappa^2}$. Da die kleine Größe $\varkappa$ hier nur in zweiter Potenz auftritt, so beeinflußt die Dämpfung die Schwingungsdauer nur in zweiter Ordnung. Für die gebräuchlichen Pendel ist $\varkappa < 10^{-3}$ sec^{-1} und deshalb dieser Einfluß ganz zu vernachlässigen.

Die Dämpfung hat aber durch Verkleinerung der Amplitude einen indirekten Einfluß auf die Schwingungsdauer, der zu berücksichtigen ist. Wie wir in 1c gesehen haben, hat man, um die Schwingungsdauer auf unendlich kleine Amplitude zu reduzieren, die Korrektion $-T.\frac{\varphi_0^2}{16}$ anzubringen, wo φ_0 die augenblickliche Amplitude bedeutet. Erstreckt sich die Beobachtung über eine längere Zeit, so muß man natürlich mit einer gewissen mittleren Amplitude rechnen. Nach (2) ist die Amplitude α zu einer beliebigen Zeit $t: \alpha = \varphi_0 e^{-\varkappa t}$, wenn φ_0 die Amplitude zur Zeit $t = 0$ bedeutet, oder $\log\alpha = \log\varphi_0 - \varkappa t \log e$. Der Logarithmus der Amplituden ist also eine lineare Funktion der Zeit, d. h. die Amplituden in äquidistanten Zeitmomenten nehmen in geometrischer Progression ab. Man kann daraus ohne Schwierigkeit entnehmen, daß es genügend genau ist, für die Amplitudenreduktion $-T.\frac{\varphi_m^2}{16}$ zu setzen, wenn man unter φ_m das geometrische Mittel aus Anfangs- und End-Amplitude versteht; bei kleineren Amplitudenunterschieden genügt es auch für φ_m das arithmetische Mittel zu nehmen.

Die vorstehenden Entwickelungen gelten nur für kleine Schwingungen. Bei größeren Amplituden (schon bei 1°) genügt es nicht mehr, die Widerstandskräfte der Geschwindigkeit proportional zu setzen; die Amplituden nehmen dann nicht mehr in geometrischer Progression ab. Man beschränkt sich deshalb bei den Pendelbeobachtungen heutzutage durchweg auf Amplituden, die kleiner sind als etwa 30'. Man hat auch bei größeren Ausschlägen langdauernde Amplitudenreihen beobachtet und durch empirische Formeln darzustellen versucht. Da hier die Kenntnis der Amplitude nur zur Berechnung einer Korrektion benutzt wird, soll darauf nicht eingegangen werden.

4c) Einfluß des umgebenden Mediums auf die Schwingungsdauer. Das umgebende Medium hat auch einen direkten Einfluß auf die Schwingungsdauer eines Pendels, den man in einen aerostatischen und aerodynamischen Teil zu zerlegen pflegt. Das Pendel erleidet wie jeder Körper, der sich in einer Flüssigkeit befindet,

Digitized by Google

einen Auftrieb. Infolgedessen wird das Drehmoment, das das Gewicht des Pendels um die Drehachse ausübt, entsprechend vermindert. Bezeichnet man die Masse der verdrängten Luft mit M_l und den Abstand des Schwerpunkts des verdrängten Luftvolumens von der Drehachse mit h_l, so tritt in der Formel für die reduzierte Pendellänge $l = \frac{J}{Mh}$ an Stelle des Nenners $Mh - M_l h_l$. Man bezeichnet diesen Einfluß als den aerostatischen.

Außerdem existiert noch ein weiterer Einfluß (aerodynamischer), der zuerst von Bessel experimentell aufgefunden ist und der daher rührt, daß durch die Pendelbewegung Luftströmungen erzeugt werden, die ihrerseits auf das Pendel zurückwirken. Die Versuche zeigen nun, daß dieser Einfluß dadurch in genügender Weise dargestellt werden kann, daß man das Trägheitsmoment J des Pendels um einen Betrag J_l vergrößert. Ueber die Größe dieses Betrages soll zunächst nichts ausgesagt werden, sondern es soll nur angenommen werden, daß er sich nicht ändert, wenn Amplitude und äußere Gestalt des Pendels ungeändert bleiben. Die vervollständigte Formel für die reduzierte Pendellänge lautet dann:

$$l = \frac{J + J_l}{Mh - M_l h_l}.$$

Bessel hat bei seinen epochemachenden Schwerkraftsmessungen J_l dadurch bestimmt, daß er bei seinem Fadenpendel die schwere Messingkugel durch eine gleich große spezifisch leichte Elfenbeinkugel ersetzte und die Aenderung der Schwingungsdauer feststellte. Da bei dieser Vertauschung J_l sich nicht ändert, während J und M beträchtliche, leicht bestimmbare Aenderungen erleiden, läßt sich auf diesem Wege die Größe von J_l ermitteln. Man könnte natürlich auch Beobachtungen im luftverdünnten Raume heranziehen, die heutzutage allgemein benutzt werden, um bei invariabeln Pendeln den Einfluß der Luftdichte auf die Schwingungsdauer empirisch zu ermitteln.

G. G. Stokes hat das Problem, den Einfluß der umgebenden Luft auf die Pendelbewegung zu ermitteln, theoretisch in Angriff genommen und unter gewissen Voraussetzungen (Vernachlässigung der Kompressibilität der Luft) für die unendlich kleinen Schwingungen einiger einfacher Pendelkörper (Kugel und Zylinder) gelöst. Da sich dabei umfangreiche mathematische Entwickelungen nicht vermeiden lassen und da man doch den Lufteinfluß bei Pendelbeobachtungen stets experimentell feststellen wird, weil das bequemer und genauer ist, soll hier auf diese Theorie nicht eingegangen werden.

Wir haben jetzt noch die praktisch wichtige Tatsache zu erörtern, daß man bei dem Reversionspendel den Lufteinfluß gänzlich eliminieren kann, wenn man die äußere Form des Pendels, wie es Bessel zuerst vorgeschlagen hat, symmetrisch gestaltet, nämlich so, daß das Pendel nach dem Umhängen denselben Raum einnimmt wie vorher. Um dabei die notwendige Massenunsymmetrie zu wahren — denn der Schwerpunkt darf nicht in der Mitte liegen — brachte Bessel an den Enden zwei zylindrische Gewichte an (A in Fig. 6a), von denen das eine hohl, das andere massiv war. Defforges brachte die weitere Verbesserung an, daß er das Zusatzgewicht an dem einen Ende in das Innere des Pendelmantels verlegte, wodurch sich die Symmetrie der äußeren Gestalt noch besser herstellen läßt (Fig. 6b). Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß das Pendel um beide Achsen genau gleiche Schwingungsdauer habe, so erhält man, wenn man unter Benutzung der früheren Bezeichnungen:

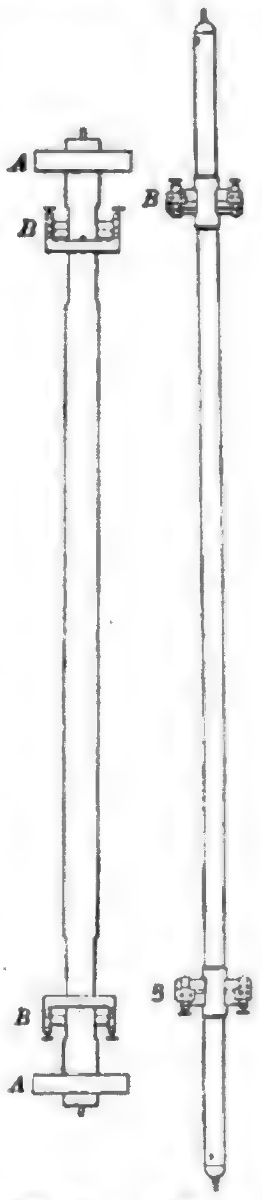


Fig. 6a. Fig. 6b.

$$l_1 = T_1^2 \cdot \frac{g}{\pi^2} = \frac{J_s + Mh_1^2 + J_l}{Mh_1 - M_l h_l},$$

$$l_2 = T_2^2 \cdot \frac{g}{\pi^2} = \frac{J_s + Mh_2^2 + J_l}{Mh_2 - M_l h_l}$$

setzt, $l_1 = l_2$, $T_1 = T_2$, und außerdem hat wegen der Symmetrie des Pendels J_l und h_l in beiden Gleichungen denselben Wert. Multipliziert man daher mit den Nennern rechts und subtrahiert dann die beiden Gleichungen, so folgt für $T_1 = T_2 = T$:

$$T^2 \cdot \frac{g}{\pi^2} = h_1 + h_2 = \varDelta.$$

In dieser Formel ist aber der Lufteinfluß ganz eliminiert. Ist T_1 nicht genau gleich T_2, so wird der Einfluß von J_l ebenfalls streng und der von M_l für alle zulässigen Werte von $T_1 - T_2$ völlig eliminiert.

Digitized by Google

4d) Schneide. Die am häufigsten gewählte Aufhängungsart für ein Pendel ist die, daß man im Pendel eine Schneide befestigt, die auf eine ebene horizontale Fläche aufgelegt wird. Schneide und Unterlagsfläche müssen genügende Härte aufweisen; man verwendet deshalb meistens Stahl oder Achat. Man kann nur theoretisch die Schneidenschärfe als eine Linie auffassen, um die das Pendel schwingt. In Wirklichkeit findet Berührung zwischen Schneide und Unterlagsfläche längs einer schmalen Fläche statt, die man nicht einmal zu schmal annehmen darf, um nichtzu unzulässigen Drucken zu gelangen. Nimmt man z. B. die Breite der Berührungsfläche zu 1 $\mu = 0{,}001$ mm an, so würde sich bei einem Pendel von 6 kg Gewicht und 6 cm Schneidenlänge ein Druck von 10 000 Atmosphären in der Berührungsfläche, d. h. 10000 kg Belastung pro qcm ergeben.

Die Aufgabe, die an der Schneide auftretenden elastischen Kräfte und Deformationen aus den allgemeinen Ansätzen der Elastizitätstheorie zu ermitteln, ist bisher nicht gelöst. Man hat nur für gewisse hypothetische Ansätze diskutiert, inwieweit die Wirkung der angenommenen Kräfte durch geeignete Kombination von Beobachtungen an Pendeln von verschiedener Länge und verschiedenem Gewicht eliminiert werden kann, worüber später noch einiges gesagt werden soll. Es soll hier nur der Einfluß des Abrollens der Schneide unter Annahme kreisförmigen Schneidenquerschnitts ermittelt werden, der bereits von Euler und Laplace bestimmt ist. Man geht am einfachsten vom Energieprinzip aus.

Bei dem Ausschlag φ ist die lebendige Kraft $\frac{J'.\dot{\varphi}^2}{2}$, wenn J' das Trägheitsmoment des Pendels in bezug auf eine Achse durch B (Fig. 7), die

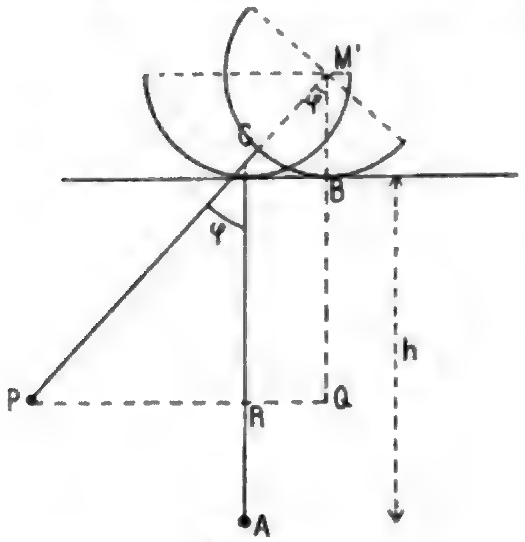


Fig. 7.

augenblickliche Berührungslinie der Schneide mit der Unterlagsfläche, bezeichnet; denn diese Berührungslinie ist die momentane Drehachse der Bewegung. Die lebendige Kraft ändert sich deshalb nicht merklich durch das Abrollen, denn man kann dafür auch $\frac{J.\dot{\varphi}^2}{2}$ setzen, wenn J das Trägheitsmoment für die Achse durch C bedeutet. J und J′ unterscheiden sich nämlich nur um den Betrag $M.\overline{CB}^2 = M.(\varrho\varphi)^2$, wenn man mit ϱ den Radius des Schneidenquerschnitts bezeichnet; dieser Betrag kann aber bei der Kleinheit von ϱ vernachlässigt werden. Dagegen ändert sich die potentielle Energie, die durch den Betrag $Mg.\overline{AR}$ gegeben ist, gegenüber der Bewegung mit fester Achse merklich. Wie aus der Figur hervorgeht, ist

$$\overline{M'P} = h + \varrho, \quad \overline{M'Q} = (h + \varrho)\cos\varphi,$$
$$\overline{AR} = h - BQ = (h + \varrho)(1 - \cos\varphi)$$

und daher die potentielle Energie $Mg(h + \varrho)(1 - \cos\varphi)$, während wir bei fester Achse den Betrag $Mgh(1 - \cos\varphi)$ erhalten hatten.

Die Wirkung einer kreisförmigen Abstumpfung der Schneide von Radius ϱ läßt sich also dadurch zum Ausdruck bringen, daß man für die reduzierte Pendellänge ansetzt:

$$l' = \frac{J}{M(h + \varrho)} \quad \text{oder} \quad l' = \frac{l}{1 + \frac{\varrho}{h}},$$

wenn man mit l die reduzierte Pendellänge bei fester Drehachse bezeichnet. Für die Schwingungsdauern ergibt sich entsprechend:

$$T^2 = T'^2\left(1 + \frac{\varrho}{h}\right).$$

Ist der Krümmungsradius des Schneidenquerschnitts nicht konstant, so hat man mit einem mittleren Krümmungsradius zu rechnen, der im allgemeinen von der Amplitude abhängen wird. Es wird deshalb auch in diesem Falle die Schwingungsdauer noch nach der Reduktion auf unendlich kleine Amplitude eine Abhängigkeit von der Amplitude zeigen. Da bei unserer Untersuchung Schneide und Unterlagsfläche als starr vorausgesetzt sind, hat sie nur den Wert einer ersten Orientierung.

4e) Mitschwingen. Auch wenn man die Schneide als eine mathematische Gerade betrachtet und von der Erdbewegung ganz absieht, liegt die Drehachse des Pendels doch nicht im Raume fest. Durch die Bewegung des Pendels wird nämlich ein Horizontaldruck auf das Pendelstativ übertragen, der eine seitliche Ausbiegung des Stativs zur Folge hat. Dadurch werden aber nahezu horizontale Parallelverschiebungen der Drehachse veranlaßt, die, wenn sie auch klein sind, doch merklichen Einfluß auf die Schwingungsdauer haben. Man bezeichnet diesen Vorgang, an dem außer dem eigentlichen Pendelstativ auch der Pfeiler, auf dem das Stativ gewöhnlich steht, und der Untergrund beteiligt sind, als Mitschwingen.

Digitized by Google

Um die Wirkung des Mitschwingens zu ermitteln, ist zunächst die Größe des bei der Pendelbewegung entstehenden Horizontaldrucks zu berechnen. Ist dm ein Massenelement des Pendels (Fig. 8) und r sein Ab-

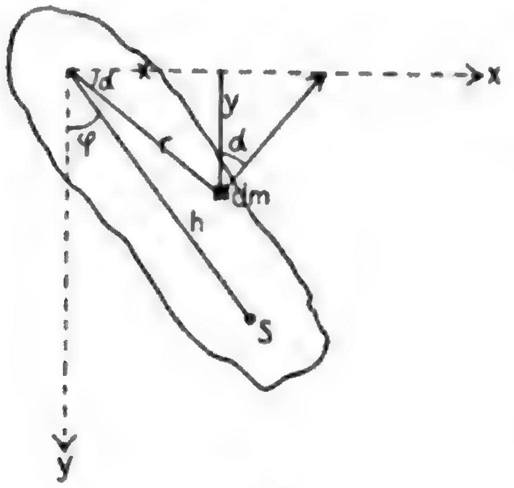


Fig. 8.

stand von der Drehachse, so ist seine lineare Geschwindigkeit $r\dot{\varphi}$, wenn mit $\dot{\varphi}$ die Winkelgeschwindigkeit des Pendels bezeichnet wird. Da diese Geschwindigkeit senkrecht zu r liegt, sind ihre Komponenten (vgl. Fig. 8) in der x- und y-Richtung resp. $r\dot{\varphi}\sin\alpha$ und $-r\dot{\varphi}\cos\alpha$ oder $y\dot{\varphi}$ und $-x\dot{\varphi}$. Die Beschleunigungskomponente in der x-Richtung ist daher $\frac{d(y\dot{\varphi})}{dt} = \dot{y}\dot{\varphi} + y\ddot{\varphi}$ oder wenn man für $\dot{y}$ den ermittelten Wert $-x\dot{\varphi}$ einsetzt:

$$\ddot{x} = -x\dot{\varphi}^2 + y\ddot{\varphi}.$$

Vernachlässigt man den ersten Term rechts als von zweiter Ordnung in φ, so ergibt sich, da die äußeren Kräfte keine Horizontalkomponente haben, als x-Komponente der „verlorenen Kraft" am Massenelement dm: $-\ddot{x}dm$ und daher als Horizontaldruck:

$$-\int\ddot{x}dm = -\ddot{\varphi}\int y dm = -\ddot{\varphi}Mh\cos\varphi \sim -\ddot{\varphi}Mh,$$

wobei das Integral über den Pendelkörper zu erstrecken ist. Setzt man gemäß Gleichung (2) in 1a für $\ddot{\varphi}$ den Wert $-\frac{g}{l}\varphi$, so ergibt sich als Horizontaldruck: $\frac{Mgh}{l}\varphi$. Der Horizontaldruck und demnach auch die Verschiebung der Drehachse ist also dem Ausschlag φ des Pendels proportional und liegt in der Richtung, nach der das Pendel ausschlägt. Man kann die Verschiebung der Drehachse gleich $\frac{Mgh}{\varepsilon l}\varphi$ setzen, wenn man unter ε einen Koeffizienten versteht, der von der Elastizität des Stativs abhängt.

Die Wirkung dieser Achsenverschiebung auf die Schwingungsdauer kann man sich auf elementarem Wege klar machen. Schwingt ein Pendel mit der Amplitude φ_0 um den festen Punkt O (Fig. 9), so kann ich diese Schwingung offenbar auch dadurch hervorrufen, daß

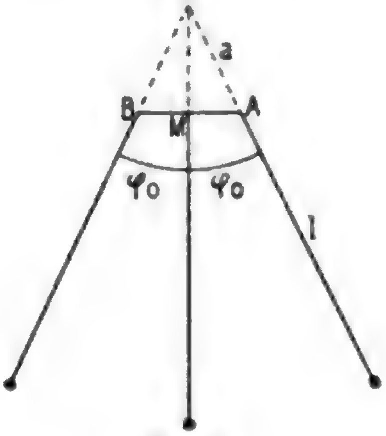


Fig. 9.

ich das Pendel um den Betrag a verkürze und nun den neuen Aufhängepunkt sich während der Schwingung von A nach B bewegen lasse und zwar in derselben Weise, wie sich der Punkt A an dem ursprünglichen Pendel bewegt haben würde. Bezeichnen wir die Entfernung des neuen Aufhängepunktes von der Mittellage mit σ und MA mit σ_0, so gilt offenbar (immer unter Voraussetzung kleiner Schwingungen):

$\sigma : a = l\varphi : l$, also $\sigma = a\varphi$ und speziell für den größten Ausschlag: $\sigma_0 = a\varphi_0$.

Diese Betrachtung können wir nun umkehren. Wie wir oben gesehen haben, bewegt sich der wirkliche Aufhängepunkt eines Pendels infolge der Elastizität des Stativs um den Betrag $\sigma = \frac{Mgh}{\varepsilon l}\varphi$, d. h. die eben mit a bezeichnete Größe hat hier den Wert $\frac{Mgh}{\varepsilon l}$; das hat aber denselben Effekt, als wenn wir das Pendel um den Betrag $a = \frac{\sigma_0}{\varphi_0}$ verlängerten. Wir können daher das Resultat aussprechen: Die reduzierte Pendellänge ändert sich durch das Mitschwingen des Stativs um den Betrag $\frac{\sigma_0}{\varphi_0}$, wenn σ_0 die Verschiebung der Drehachse bedeutet, die dem Pendelausschlag φ_0 entspricht.

Um die Korrektion wegen Mitschwingens zu bestimmen, muß man daher die Achsenverschiebung bei einem bestimmten Pendelausschlag messen. Da es sich nur um sehr kleine Verschiebungen handelt, ist eine direkte Messung (etwa mit dem Mikroskop) schwierig und unbequem. Von den mannigfachen Verfahren, die zur Beobachtung des Mitschwingens ersonnen sind, soll hier nur eine Methode erörtert werden, bei der der Verschiebungseffekt durch „Resonanz" vergrößert und auf diese Weise bequem meßbar

Digitized by Google

gemacht wird. Man hängt neben dem Hauptpendel (treibendes), für das die Korrektion wegen Mitschwingens bestimmt werden soll, noch ein zweites, sehr leichtes Fadenpendel (getriebenes) auf demselben Stativ auf und zwar wählt man die Länge des Fadenpendels so, daß es genau gleiche Schwingungszeit mit dem Hauptpendel hat (Resonanz). Setzt man nun das Hauptpendel in Bewegung, so wird das Stativ mitschwingen und daher das anfangs ruhende Fadenpendel infolge der erzwungenen Schwingungen, die sein Aufhängepunkt ausführt, selbst in Schwingungen geraten, und zwar wächst die Amplitude des Fadenpendels, wie sich zeigen wird, anfangs infolge der Resonanz linear mit der Zeit. Nach einigen Minuten wird sie daher eine solche Größe erreicht haben, daß sie bequem meßbar ist. Das getriebene Fadenpendel muß leicht sein, damit es bei seinen Schwingungen nicht merklich auf das Stativ und dadurch auf das Hauptpendel zurückwirkt.

Um die Verhältnisse quantitativ zu verfolgen, bezeichnen wir die Ausladung des Stativs mit σ und setzen, da die Stativschwingungen isochron mit denen des Hauptpendels erfolgen $\sigma = \sigma_0 \cos nt$, wo σ_0 die Stativamplitude bezeichnet und n zur Abkürzung für $\sqrt{\frac{g}{l}}$ gesetzt ist; l bedeutet wie immer die reduzierte Länge des Hauptpendels und die ihr gleiche des Fadenpendels. Die lineare Beschleunigung des Massenpunktes des Fadenpendels, das wir als mathemathisches Pendel auffassen können (Fig. 10), ist

Fig. 10.

nun mit genügender Genauigkeit $l\ddot{\varphi} + \ddot{\sigma}$, während die Kraftkomponente in Richtung der Bahn $-mg\varphi$ ist. Man hat daher die Gleichung:

$$l\ddot{\varphi} + \ddot{\sigma} = -g\varphi$$

oder durch Einsetzen von $\ddot{\sigma}$:

$$\ddot{\varphi} + n^2\varphi = \frac{n^2\sigma_0}{l} \cos nt.$$

Zur Zeit $t = 0$ ist das Fadenpendel in Ruhe, d. h. $\varphi = 0$, $\dot{\varphi} = 0$. Wie in der Theorie der Schwingungen gekoppelter Systeme (vgl. den Artikel „Schwingende Systeme") gezeigt wird, hat die letzte Differentialgleichung die Lösung:

$$\varphi = \frac{n\sigma_0}{2l} t \sin nt,$$

was man auch leicht direkt verifizieren kann. Die Amplitude des Fadenpendels α wird daher

$$\alpha = \frac{n\sigma_0}{2l} t,$$

d. h. sie wächst linear mit der Zeit, wie oben behauptet wurde. Beobachtet man nun etwa zur Zeit t_0 die Fadenpendelamplitude α_0, so wird $\sigma_0 = \frac{\alpha_0}{t_0} \cdot \frac{2l}{n}$ und demnach die Verbesserung der reduzierten Länge des Hauptpendels wegen Mitschwingens $\frac{2l}{nt_0} \cdot \frac{\alpha_0}{\varphi_0}$, wenn φ_0 die Amplitude des Hauptpendels bedeutet. Das Anwachsen der Amplitude des Fadenpendels erfolgt nur für einige Zeit linear, da sich später die Dämpfung bemerkbar macht, die bei den obigen Entwickelungen nicht berücksichtigt ist. Sie entzieht dem Fadenpendel wieder einen Teil der vom Hauptpendel dauernd zugeführten Energie und verhindert so ein proportionales Anwachsen der Amplitude des Fadenpendels. Dieser Einfluß wird aber erst nach einiger Zeit merkbar. Außerdem geht auch, wenn anfangs genaue Resonanz vorhanden war, diese nach einiger Zeit verloren, weil die Schwingungsdauern der Pendel mit den Amplituden sich ändern.

Bei sorgfältiger Beobachtung kann man die Korrektion der reduzierten Pendellänge wegen Mitschwingens ohne besondere Schwierigkeit auf 0,1 μ genau bestimmen. Es ist von Interesse sich klarzumachen, welche Verschiebung der Drehachse diesem Betrage entspricht. Nimmt man den Ausschlag des Hauptpendels gleich 0,02 = arc 1°10′, so entspricht einer Mitschwingenskorrektion von 10^{-5} cm die Achsenverschiebung $2 \cdot 10^{-7}$ cm, also eine Größe, die bereits dem Gebiet molekularer Dimensionen sich nähert. Es ist darum auch verständlich, daß kaum eine Aufstellung ganz vom Mitschwingen frei ist.

Man könnte im Zweifel sein, ob die Beobachtung des zweiten Pendels, das doch in einiger Entfernung vom Hauptpendel angebracht werden muß, auch den vollen Betrag des Mitschwingens erfaßt. Direkte Beobachtungen desselben Pendels auf Stativen von verschiedener Stabilität haben diesen Zweifel beseitigt, da sich die Differenz der Schwingungszeiten auf den verschiedenen Stativen gleich der Differenz der ermittelten Mitschwingenskorrektionen ergab. Ein Stativ kann, wenn es unsymmetrisch ist, auch in verschiedenen Azimuten verschiedenes Mitschwingen zeigen. So ergaben sich bei den erwähnten Schwerkraftsmessungen in Potsdam für Beobachtungen auf demselben Stativ in den Schwingungsrichtungen N—S, E—W, NE—SW für die Länge des Sekundenpendels in cm ohne Berücksichtigung des Mitschwingens die Werte 99,4223; 99,4215; 99,4219; nach Anbringung der mit Hilfe eines Fadenpendels ermittelten Korrektion wegen Mitschwingens ergab sich übereinstimmend in allen drei Richtungen 99,4226,

Digitized by Google

ein Beweis für die Brauchbarkeit dieser Methode.

Zur Berücksichtigung des Stativmitschwingens ist man erst dadurch gekommen, daß sich bei Beobachtungen auf einem wenig stabilen Stativ starke Abweichungen ergaben. Bis dahin hatte man ohne nähere Prüfung angenommen, daß der Einfluß der Stativbewegung wegen ihrer Kleinheit vernachlässigt werden könne. Dies Beispiel zeigt, daß auch bei kleinen Vernachlässigungen Vorsicht geboten ist.

4f) Elastizität des Pendels. Ebenso wie das Stativ elastische Bewegungen ausführt, erleidet auch das Pendel bei seinen Schwingungen elastische Deformationen, deren Einfluß erst in neuester Zeit von Helmert und Kühnen eingehend untersucht ist. Früher hatte man die Wirkung dieser Verbiegungen vernachlässigt, und man ist zu ihrer Berücksichtigung erst durch abweichende Beobachtungen an einem stark biegsamen Pendel gekommen, bei dem das sonst als Pendelstange übliche Rohr durch eine massive Stange von wesentlich kleinerem Durchmesser ersetzt war. Eine ausführliche Theorie erfordert umfangreiche mathematische Entwickelungen; hier soll deshalb nur folgendes angeführt werden. Wenn ein physisches Pendel schwingt, so bewegt sich nur das Massenelement im Schwingungsmittelpunkt und die mit ihm auf einer Parallelen zur Drehachse liegenden so, als ob sie allein vorhandenwären; alle übrigen Massenelemente werden durch ihren Zusammenhang mit dem Pendel gehemmt oder beschleunigt. Es treten deshalb hier überall „verlorene Kräfte" auf, die einen Spannungszustand des Pendels herbeiführen und zu Verbiegungen Anlaß geben. Es ist von vornherein klar, daß dadurch die Schwingungszeit des Pendels beeinflußt werden kann; über die Größe dieses Einflusses kann nur eine eingehende Theorie Auskunft geben. In dieser Hinsicht hat sich gezeigt, daß der Einfluß der Elastizität auch bei den steifsten Pendeln, wenn er dort auch klein ist, doch nicht ganz vernachlässigt werden kann (Größenordnung einige Mikron für die Länge des Sekundenpendels). Jedenfalls ist es nötig, weil dieser Einfluß, wenn er groß ist, nur schwierig mit der nötigen Genauigkeit zu ermitteln ist, die Pendel steif genug zu konstruieren. Man wird also als Pendelstangen immer Rohre wählen, weil diese bei gleichem Gewicht erheblich größere Biegungsfestigkeit als massive Stangen besitzen.

Ein Pendel erleidet durch sein eigenes Gewicht eine Dehnung. Da bei einem Reversionspendel die Massen an den Enden verschieden sind, wird es deshalb vor und nach der Reversion einen verschiedenen Schneidenabstand besitzen; es ist aus diesem Grunde ebenfalls eine kleine Korrektion erforderlich.

4g) Geometrische Bedingungen für das Reversionspendel. Ein richtiges Reversionspendel muß, wie aus der in 2b und 3d gegebenen Theorie hervorgeht, gewissen geometrischen Bedingungen genügen, die in Wirklichkeit nur angenähert erfüllt sind. Es müssen die beiden Drehachsen parallel sein, damit die Trägheitsmomente für Achsen, die durch den Schwerpunkt parallel zu den beiden Drehachsen gezogen werden können, gleich sind. Ferner muß die Ebene der beiden Drehachsen den Schwerpunkt enthalten, damit der Schneidenabstand $\varDelta$ gleich der Summe der Schwerpunktsabstände von den Drehachsen $h_1 + h_2$ gesetzt werden kann. Endlich muß, wenn der Lufteinfluß eliminiert werden soll (vgl. 4c), das Pendel symmetrisch sein, derart, daß es nach der Reversion, wenn die zweite Schneide die Stelle der ersten einnimmt, denselben Raum erfüllt wie vor der Umhängung. Was den Parallelismus der Schneiden anlangt, so unterscheidet man einen Neigungs- und Kreuzungswinkel. Der erste ist der Winkel, den die Projektionen der beiden Schneiden auf eine Vertikalebene, die angenähert (bei hängendem Pendel) durch sie hindurchgeht, miteinander bilden, während der Kreuzungswinkel der Winkel zwischen den Horizontalprojektionen der beiden Schneiden ist. Da die Trägheitsmomente für horizontale Achsen durch den Schwerpunkt nahe gleich sind und von dem für die vertikale Achse stärker abweichen, so ist klar, daß man für den Kreuzungswinkel erheblich größere Beträge zulassen kann als für den Neigungswinkel. Im übrigen soll hier nicht näher erörtert werden, welche Abweichungen für die einzelnen Bedingungen zulässig sind und wie man sie ermitteln kann.

4h) Elimination von Störungen. Man braucht die im vorstehenden geschilderten störenden Einflüsse nicht sämtlich ihrer Größe nach zu ermitteln, man kann sie zum Teil auch durch eine geeignete Kombination von Beobachtungen eliminieren. Es sei zunächst an den Einfluß der Schneidenkrümmung erinnert, den wir in 4d) durch die Formel $T^2 = T'^2 \left(1 + \frac{\varrho}{h}\right)$ wiedergegeben haben, wenn ϱ einen mittleren Krümmungsradius des Schneidenquerschnitts, h den Schwerpunktsabstand von der Drehachse, T' und T resp. die Schwingungsdauern bei gekrümmter und scharfer Schneide bedeuten. Wenden wir diese Formel auf das Reversionspendel an, indem wir die beiden Enden durch die Indizes 1 und 2 unterscheiden, so ergibt

sich an Stelle der Formel $T^2 = \frac{h_1 T_1^2 - h_2 T_2^2}{h_1 - h_2}$, die wir in 3d für die dem Schneidenabstand Λ des Reversionspendels entsprechende Schwingungsdauer T abgeleitet haben, die korrigierte Formel:

$$T^2 = \frac{h_1 T_1'^2 - h_2 T_2'^2}{h_1 - h_2} + \frac{T'^2(\varrho_1 - \varrho_2)}{h_1 - h_2}.$$

Der Einfluß der Schneidenkrümmung wird durch das zweite Glied rechts angegeben, wo bei T' der Index weggelassen ist, weil es gleichgültig ist, ob man in diesem Korrektionsgliede mit T_1' oder T_2' rechnet. Man erkennt aus der letzten Formel, daß es möglich ist, den Einfluß der Schneidenkrümmung zu eliminieren, wenn man im Pendel die Schneiden vertauscht, die Beobachtungen wiederholt und aus den berechneten Werten für L oder g das Mittel nimmt. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß vor und nach der Vertauschung dieselben Teile der Schneiden bei den Schwingungen mit den Unterlagsflächen in Berührung kommen, die überdies als genügend eben vorausgesetzt werden müssen. Denselben Zweck wie durch Schneidenvertauschung kann man auch durch Vertauschung der unsymmetrischen Massen an den Pendelenden erreichen, weil dadurch auch der Abstand der Schneiden vom Schwerpunkt vertauscht wird, worauf es ankommt. Diese Vertauschung der Massen ist sogar noch günstiger, weil dadurch eventuell auch der Einfluß von Unsymmetrien der Pendelgestalt eliminiert wird.

Eine andere Methode, um die Wirkung der Schneidenkrümmung zu eliminieren, besteht darin, daß man die Schneide fest auf dem Stativ anbringt und in das Reversionspendel zwei Prismen (Achat) mit ebenen Flächen einsetzt, die auf die Schneide aufgelegt werden; man hat es dann überhaupt nur mit einer Schneide zu tun. Weitere Vorteile bietet diese Methode bei der Messung des Abstandes der beiden Drehachsen, die man meistens in einem Vertikalkomparator vornimmt. Bei den Schneiden machen sich hier starke Einflüsse der Beleuchtung geltend, so daß man die Schneidenränder nicht so scharf mit den Mikroskopfäden einstellen kann wie z. B. einen Maßstabstrich. Bei der eben beschriebenen Anordnung werden an den Seitenflächen der Prismen parallel zu den Flächen, auf denen das Pendel schwingt, Striche eingeritzt. Der Abstand dieser Striche wird bestimmt einmal, wenn die Prismen im Pendel sitzen und sodann, wenn man sie mit den ebenen Flächen zusammenlegt; die Differenz beider Messungen gibt offenbar den Abstand der Drehachsen.

Man hat auch die Benutzung mehrerer Reversionspendel vorgeschlagen und durchgeführt. So kann man z. B. durch Beobachtung zweier gleichlanger Pendel von verschiedenem Gewicht die Wirkung des Mitschwingens des Stativs eliminieren, was aber kaum nötig erscheint, weil man die Korrektion wegen Mitschwingens sehr genau ermitteln kann. Günstiger ist auch wohl die Verwendung von zwei Pendeln von gleichem Gewicht, aber verschiedener Länge; dadurch wird z. B. der Einfluß eines konstanten Längenmessungsfehlers eliminiert. Man hat die Kombination mehrerer Pendel hauptsächlich deshalb eingeführt, um die Wirkung der unbekannten Vorgänge an der Schneide unschädlich zu machen; da es sich dabei aber nur um mehr oder minder plausible Hypothesen handelt, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

5. Sphärisches Pendel. 5a) Zentrifugalpendel. Unter einem sphärischen Pendel verstehen wir einen Massenpunkt P, der durch einen masselosen starren Faden von der Länge l mit einem festen Raumpunkte O verbunden ist, so daß er sich nur auf der Kugel mit dem Radius l um den Mittelpunkt O unter der Wirkung der Schwerkraft bewegen kann. Es soll hier zunächst der praktisch wichtige Fall des Zentrifugalpendels erörtert werden. Wir werfen zu dem Zweck die Frage auf, ob es möglich ist, das sphärische Pendel so in Bewegung zu setzen, daß sein Massenpunkt dauernd mit konstanter Geschwindigkeit auf einem horizontalen Kreise läuft. Man muß dann die an P angreifende Kraft mg = PQ (Fig. 11) so in zwei Komponenten zerlegen können, daß die eine Komponente in die Richtung des Fadens OP fällt, während die andere Komponente der bei der Kreisbewegung auftretenden Zentrifugalkraft gleich und entgegengesetzt gerichtet ist. Ist die lineare Geschwindigkeit des Punktes P gleich v und der Kreisradius r, so folgt $\frac{v^2}{r} = g \operatorname{tg} \psi$,

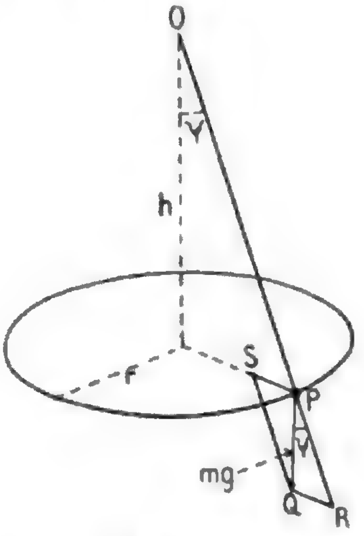


Fig. 11.

Digitized by Google

wenn ψ der Winkel von OP mit der Vertikalen ist. Da $r = l \sin \psi$, folgt $v = \sin \psi \sqrt{\frac{gl}{\cos \psi}}$. Mit dieser Geschwindigkeit ist also das Pendel in Bewegung zu setzen, damit es die gewünschte Bewegung ausführt. Die Zeit eines Umlaufs ergibt sich gleich

$$\frac{2\pi r}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \psi}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}},$$

wenn h der Abstand des Punktes O von der Kreisfläche ist. Da sich h bei kleinen Winkeln ψ nur wenig ändert (wie $\cos \psi$), ist die Umlaufszeit bei kleinen Ausschlagswinkeln von der Größe dieser fast unabhängig. Man nennt ein Pendel, welches die beschriebene Bewegung ausführt, Zentrifugalpendel oder konisches Pendel.

5b) Kleine Bewegungen des sphärischen Pendels. Die allgemeine Theorie der Bewegung eines sphärischen Pendels führt auf elliptische Funktionen; es soll deshalb hier nur kurz von den unendlich kleinen Bewegungen eines solchen Pendels gesprochen werden. Nennt man wie oben ψ den Winkel der Schwerkraft mit dem Pendelfaden, so ist der Winkel der Schwerkraft mit der Tangentialebene in P an die Kugel, auf der sich P bewegt, $90^0 - \psi$, weil OP Kugelradius ist und demnach auf der Tangentialebene in P senkrecht steht. Die Komponente der Schwerkraft in der Tangentialebene ist deshalb $mg \sin \psi$ oder kurz $mg\psi$, und zwar liegt sie in der Vertikalebene durch OP, die stets die Gleichgewichtslage P_0 des Punktes P enthält. Da wir bei unseren Annahmen das Kugelstück, auf dem sich P bewegt, als eben betrachten und den Abstand PP_0 mit $l\psi$ ansetzen können, so wird die Bewegung des Massenpunktes P so erfolgen, als ob er unter der Wirkung einer in P_0 befindlichen Zentralkraft stände, deren Größe dem Abstand PP_0 proportional ist. Wie bekannt ist, bewegt sich ein solcher Punkt auf einer Ellipse. Die unendlich kleinen Bewegungen eines sphärischen Pendels erfolgen also derart, daß der Massenpunkt des Pendels dabei eine nach Größe und Lage unveränderliche Ellipse durchläuft.

6. Einfluß der Erdrotation. Jedes Pendel nimmt an der Bewegung der Erde teil; es ist deshalb zu prüfen, wie diese auf die Bewegung des Pendels einwirkt. In dieser Hinsicht ist zunächst festzustellen, daß die Bewegung der Erde um die Sonne keinen merkbaren Einfluß hat, weil sie für die Dauer der Pendelschwingungen genügend genau als eine gleichförmige Translation angesehen werden kann. Anders ist es mit der Rotation der Erde um ihre Achse, die auf das gewöhnliche Pendel die Wirkung hat, daß zu der Erdattraktion noch die durch die Rotation verursachte Zentrifugalkraft hinzutritt. Da man diese Wirkung in die Definition der Schwerebeschleunigung g aufzunehmen pflegt, indem man g als Resultante aus der Erdattraktion und Zentrifugalkraft definiert, gelten unsere Entwickelungen für das gewöhnliche Pendel ohne weiteres auf der rotierenden Erde. Auf das sphärische Pendel hat dagegen die Erdrotation noch einen weiteren sichtbaren Einfluß, der zuerst von L. Foucault benutzt ist, um die Erdrotation auf mechanischem Wege nachzuweisen.

6a) Foucaultsches Pendel. Man macht sich die Wirkung der Erdrotation auf das sphärische Pendel am einfachsten klar, wenn man zunächst annimmt, daß sich das Pendel am Nord- oder Südpol befindet. Dort wird offenbar die Erde gerade so auf das Pendel wirken, als ob sie ruhte; denn die Zentrifugalkraft ist Null und die Attraktion der Erdmasse wird durch die Rotation nicht beeinflußt. Schwingt also das Pendel etwa in einer Ebene, so wird die Schwingungsebene ihre Lage im Raume beibehalten, während sie scheinbar eine gleichförmige Drehung um die Vertikale wie das Himmelsgewölbe ausführt; in Wirklichkeit dreht sich natürlich die Erde. Befindet sich das Pendel an einem Orte P unter der geographischen Breite φ (Fig. 12), so kann man die Erd-

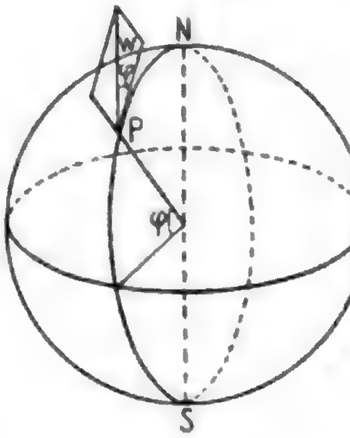


Fig. 12.

rotation um die Achse NS als gleichförmige Drehung mit der Winkelgeschwindigkeit w nach dem Parallelogramm in Komponenten zerlegen, von denen die eine $w \sin \varphi$ die Vertikale in P und die andere $w \cos \varphi$ die horizontale Meridiantangente in P als Achse hat. Nimmt man an, wie es plausibel ist, daß die letzte Komponente keine Wirkung auf die Schwingungsebene des Pendels hat, so bleibt allein die Komponente $w \sin \varphi$ um die Vertikale von P übrig, welche die Wirkung hat, daß sie die Erde mit der Geschwindigkeit $w \sin \varphi$ unter dem Pendel dreht. Scheinbar wird also die Schwingungsebene des Pendels sich in der Richtung E—S—W mit

der Geschwindigkeit $w \sin \varphi$ gleichförmig herumdrehen. Eine vollständige Theorie erfordert die Aufstellung der Differentialgleichungen für die relative Bewegung und ihre Integration, worauf wir hier nicht eingehen können.

Foucault hat, um die Erdrotation auf die angegebene Weise nachzuweisen, ein sehr langes Fadenpendel benutzt und nach langen Mühen auch sein Ziel erreicht. Später ist der Versuch oft wiederholt; er gelingt bei der nötigen Vorsicht auch mit relativ einfachen Mitteln. Gauß hat, um die Beobachtungsgenauigkeit zu erhöhen, vorgeschlagen, ein Pendel mit cardanischer Aufhängung zu benutzen; es hat sich später aber herausgestellt, daß der Versuch nur gelingt, wenn die beiden Achsen der Aufhängung sehr genau in einer Ebene liegen. H. Kamerlingh Onnes hat dann das Gaußsche Pendel wesentlich verbessert und damit unter Berücksichtigung der Fehlerquellen zahlreiche und mannigfache Versuche angestellt, die wohl das genaueste Resultat ergeben haben (12°,04 und 11°,99 stündliche Drehung anstatt des genauen Wertes 12°,03).

6b) Bravaisscher Pendelversuch. Auch auf die Umlaufszeit des Zentrifugalpendels hat die Erdrotation Einfluß. Wir denken uns das Pendel wieder am Pol und bezeichnen seine wahre Umlaufszeit (auf ruhender Erde) mit T und seine Winkelgeschwindigkeit mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$. In Wirklichkeit bestimmt man die Umlaufszeit, indem man die zwei sukzessiven Durchgänge des Pendels durch eine mit der Erde fest verbundene Ebene beobachtet. Da sich diese Ebene mit der Geschwindigkeit w dreht, hat das Pendel während seines Umlaufs in Wirklichkeit den Bogen $(2\pi \pm wT)$ zurückgelegt, wo das obere oder untere Zeichen gilt, je nachdem das Pendel gleichsinnig mit der Erde rotiert oder nicht. Die scheinbaren Schwingungsdauern werden daher die Werte $\frac{2\pi \pm wT}{\omega} = T\left(1 \pm \frac{w}{\omega}\right)$ haben, und ihr Unterschied wird daher $\frac{2Tw}{\omega}$ sein; in der Breite φ tritt noch der Faktor $\sin \varphi$ hinzu. Setzt man für T den in 5a) ermittelten Wert ein, so ergibt sich als Unterschied der beiden Schwingungszeiten, wenn das Pendel links oder rechts herum läuft: $4\pi . \frac{l}{g} . w \sin \varphi$. Für ein 10 m langes Pendel wird der Unterschied in der Breite 50° etwa $7 . 10^{-4}$ sec.

A. Bravais hat den beschriebenen Versuch angestellt und ein mit der Theorie übereinstimmendes Resultat erhalten; soweit mir bekannt ist, ist der Versuch nicht wiederholt.

Literatur. *Abdruck der wichtigsten Arbeiten bei* **C. Wolf,** *Collection de mémoires relatifs au pendule, Bd. 4 (1889) und 5 (1891) der Coll. de mém. relatifs à la physique; in Bd. 4: Bibliographie du pendule. — Ausführliche Literaturangaben auch in dem Artikel des Verfassers, Die Mechanik der einfachsten physikalischen Apparate und Versuchsanordnungen, Encyklop. d. math. Wiss. IV. 1 (Mechanik), Art. 7. — Einzelne Arbeiten:* **F. W. Bessel,** *Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels, Berl. Akad. Abhandl. 1826.* — **F. R. Helmert,** *Beiträge zur Theorie des Reversionspendels. Potsdam 1898.* — **F. Kühnen und Ph. Furtwängler,** *Bestimmung der absoluten Größe der Schwerkraft zu Potsdam mit Reversionspendeln. Berlin 1906.* — **Ch. Defforges,** *Observations du pendule. Mém. du dépôt général de la guerre 15 (1894).* — **L. Foucault,** *Démonstr. phys. du mouvement de rotation de la terre au moyen du pendule. Paris Compt. rend. 32 (1851).*

Ph. Furtwängler.

Peneplaine

zu deutsch Fastebene, Halbebene oder Rumpfebene. Der Ausdruck wurde von Davis eingeführt für eine mehr oder minder vollkommene Ebene, die durch langanhaltende Erosion aus einem stark gegliederten Gebiete entstanden ist (vgl. den Artikel „Flüsse").

Pentastomata

Linguatulidae, Zungenwürmer

siehe den Artikel „Arachnoidea".

Perkin

William Henry.

Geboren in London am 12. März 1838, gestorben am 14. Juli 1907, Schüler von A. W. Hofmann im Royal College of London, hat, kaum dem Knabenalter entwachsen, schon 1855 eine Reihe von Experimentaluntersuchungen durchgeführt und war so glücklich, im Jahre 1856 den ersten Anilinfarbstoff, Anilinviolett (mauve), zu entdecken und seine Fabrikation unmittelbar danach anzubahnen. Perkin ist so der Begründer der zu mächtigster Entwickelung gelangten Teerfarbstoffindustrie geworden, die er noch mit wertvollen Erfindungen anderer Farbstoffe beschenkte. Seine große wissenschaftliche Bedeutung erhellt aus zahlreichen Arbeiten, durch die er die Konstitution organisch-chemischer Verbindungen, namentlich von Farbstoffen, zu entziffern suchte. Die Synthese eines pflanzlichen Riechstoffes, des Cumarins, sowie die der Zimtsäure gelang ihm und führt seinen Namen. Auch im Bereiche der physikalischen Chemie war er tätig; in den letzten 15 Jahren seines an Erfolgen reichen

Digitized by Google

Lebens machte er das Lichtbrechungsvermögen und das magnetische Drehungsvermögen organischer Verbindungen zum Gegenstand eingehender, wissenschaftlich wertvoller Forschungen. Seine Lebensarbeit ist ausführlich in dem von Meldola mit großer Personen- und Sachkenntnis geschriebenen Nekrolog, Ber. 44, 911, geschildert.

Perlen und Perlenbildung.

1. Herkunft der Perlen. 2. Struktur, Farbe, Größe und sonstige Beschaffenheit der Perlen. 3. Perlenbildung. 4. Gewinnung und Verwertung der Perlen.

Perlen sind im tierischen Organismus, speziell im Körper von Weichtieren erzeugte, meist kugelrunde, seltener ovale oder unregelmäßig geformte, aus kohlensaurem Kalk und organischer Substanz bestehende Gebilde. Da sie nicht zu den normalen Produkten des Körpers gehören, hat man sie zuweilen als krankhafte Bildungen bezeichnet. Insofern sie aber unter Umständen zur Isolierung von Fremdkörpern dienen, welche in den Organismus eindrangen, dürften sie sogar für diesen nützlich wirken, was um so mehr in die Augen fällt, wenn es sich um Parasiten handelt, welche in den Körper des Weichtieres gelangten. Schädigend scheint die Perlbildung auf den Organismus des sie hervorbringenden Tieres nicht zu wirken, so daß man von einer „Perlenkrankheit" nicht gut sprechen kann.

Den Perlen in ihrer Beschaffenheit und Entstehung nicht ganz unähnliche Gebilde, nämlich Ablagerungen mineralischer Stoffe, besonders von kohlensaurem und phosphorsaurem Kalk in Verbindung mit organischer Substanz finden sich nicht selten im Körper der Wirbeltiere, wie auch wirbelloser Tiere. Gewöhnlich handelt es sich da ebenfalls um die Isolierung irgendwie eingedrungener, dem Organismus fremder Körper durch Verkalkung oder Umgeben mit Kalkschichten bezw. verkalkenden Cysten. Derartige Gebilde pflegen von unregelmäßiger Form und im Gegensatz zu den Perlen recht unansehnlich zu sein, obwohl allerdings die Darm-, Gallen- und Nierensteine, welche je nach dem Organ, in welchem sie gefunden werden, von anderer Entstehung und Zusammensetzung sind, bei recht bedeutendem Umfang und abgerundeter Form zumal im Innern eine recht regelmäßige Bildung zeigen können.

Mit den Perlen verglichen hat man auch die kugelrunden, aus organischer Substanz und kohlensaurem Kalk bestehenden, also den Perlen in Form und Zusammensetzung ganz ähnliche Statolithen der Statocysten (sogenannte Gehör-, besser Equilibrorgane), wie sie bei Weichtieren, Krebsen, Medusen, sowie in etwas anderer Zusammensetzung bei den Wirbeltieren, besonders Fischen, vorkommen. Bei ihnen handelt es sich natürlich um durchaus normale, dem betreffenden Organismus notwendige und in ihm ständig funktionierende Bildungen. Das gleiche gilt auch für die sogenannten Gastrolithen (Krebssteine, Krebsaugen) aus der Magenwand der Krebse, die in Form und Struktur eine gewisse Aehnlichkeit mit den Perlen zeigen.

Von „Perlen" spricht man auch bei gewissen Pflanzen, so werden aus Kokosnüssen perlenartige Bildungen beschrieben, die eine solche Größe erlangen könnten, daß sie als Schmuckstücke getragen werden. Diese vegetabilischen sollen wie die animalischen Perlen in der Hauptsache aus kohlensaurem Kalk bestehen. Bildungen, die den tierischen Perlen vielleicht verglichen werden könnten, aber nicht wie diese aus $CaCO_3$, sondern aus Kieselsäureabsonderungen zusammengesetzt sind, findet man in den Kokosfasern, Manilahanf, Bambus und anderen Pflanzen, ohne daß sie unseres Wissens zu der bedeutenden Größe jener als Schmuckstücke verwendeten Bildungen heranwüchsen.

1. Herkunft der Perlen. Diejenigen Gebilde, welche man im allgemeinen mit dem Namen Perlen belegt, stammen von Weichtieren und vor allem von Muscheln her, doch liefern auch einige Schnecken (Bauchfüßer, Gastropoden) und Tintenfische (Cephalopoden) gelegentlich Perlen, so der Nautilus pompilius. Von Schnecken sind die dickschalige Riesenschnecke (Strombus gigas) und das Seeohr (Haliotis), aber auch andere Bauchfüßer zu nennen, die besonders den Gattungen Murex, Trochus und Turbo zugehören. Vor allen Dingen kommt es bei den perlenerzeugenden Tieren auf eine schöne, glatte, wenn möglich perlmutterglänzende Innenschicht der Schale an, wie sie bei den genannten Schnecken, besonders bei Haliotis vorhanden ist. Durch eine solche in hervorragender Weise ausgezeichnet sind die „Perlmuscheln", die infolgedessen auch als hauptsächliche Lieferanten der Perlen zu gelten haben.

Von den Muscheln (Bivalven, Acephalen, Lamellibranchiaten) sind als perlenerzeugende Tiere sowohl solche zu nennen, die im Meere leben, wie andere, die das Süßwasser bewohnen, obwohl allerdings die ersteren eine bei weitem größere Bedeutung beanspruchen und die Hauptmasse an edlen Perlen liefern. Diese Muscheln sind in erster Linie: **Margaritana (Meleagrina, Avicula) margaritifera** und **M. vulgaris**, doch kommen noch einige andere Arten derselben Gattung in Betracht, wenn sie auch nicht die gleiche wichtige Rolle wie die genannten beiden Arten spielen. Diese Muscheln leben an den Küsten der tropischen Meere, des Indischen, Stillen

Digitized by Google

Ozeans, Roten Meeres und Persischen Golfs, im Malayischen Archipel, an der Küste von Australien und Japan, in Westindien, sowie an den tropischen Küsten im Osten und Westen des amerikanischen Kontinents und noch anderen Oertlichkeiten.

Andere Meeresmuscheln liefern gelegentlich schöne, im ganzen aber nur weniger wertvolle Perlen. So kommt es vor, daß zuweilen in Austern gute Perlen gefunden werden, die sich als Schmuckstücke verwerten lassen; andere perlenerzeugende Muscheln gehören den Gattungen Placuna, Anomia, Spondylus, Pecten, Mytilus, Pectunculus, Modiola, Arca, Tridacna, Pinna und gewiß noch manchen anderen an, doch erfreuen sich die von ihnen hervorgebrachten Perlen gewöhnlich keines besonderen Glanzes, sondern sind im Gegenteil zumeist recht unscheinbar.

Edle Perlen wie die Perlmuscheln des Meeres erzeugen die Unioniden des süßen Wassers, darunter unsere einheimische Flußperlmuschel, Margaritana margaritifera, die in den europäischen Kulturländern seit altersher dafür bekannt ist, es sei nur an die Perlengewinnung in Bayern (Niederbayern, Oberpfalz, Regensburg und Oberfranken), sowie im sächsischen Elstergebiet erinnert. Seit langem hat man auch in England und Frankreich von ihr Perlen gewonnen und sie ist ferner in Skandinavien wie in Rußland und Sibirien verbreitet. Andere Unioniden, die ebenfalls gute Perlen liefern, sind aus der Mongolei, China und Nordamerika bekannt, wo sie wie in Europa, aber wohl noch seit viel längerer Zeit, geschützt und besonders in China und Japan gehegt, sowie zur Erzeugung von Perlen auf künstlichem Wege verwendet wurden. Es sind verschiedene Vertreter der Gattung Unio, die hier in Betracht kommen, ferner die bekannte große Unionide Dipsas plicatus, sowie einzelne Arten der amerikanischen Gattungen Quadrula, Pleurobema Tritigonia, Plagiola, Symphynata u. a.

In den genannten Tieren können die Perlen in verschiedenen Organen auftreten, finden sich aber mit Vorliebe im Mantel oder in dessen nächster Umgebung, was dadurch erklärlich ist, daß die Perlen einen mit der Struktur der Schale sehr ähnlichen Bau zeigen und letztere vom Mantel abgeschieden wird. Die Muschelschale setzt sich aus drei Schichten zusammen: 1. der aus organischer Substanz (Conchyolin) bestehenden äußeren Lage, dem Periostracum, das freilich in späterem Alter durch Abreiben zum Teil verloren geht, 2. der Prismenschicht, die größtenteils aus kohlensaurem Kalk und zwar aus Prismen besteht, welche zur Schalenoberfläche senkrecht gestellt sind, 3. der Perlmutterschicht, die sich ihrerseits aus zur Oberfläche parallel gerichteten Kalklagen zusammensetzt und die innerste Schicht der Schale bildet. Figur 1 stellt einen Schnitt

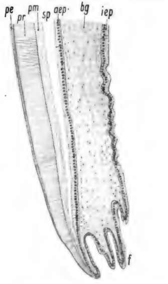


Fig. 1. Mantelrand mit Falten (f), Außen- und Innenepithel (aep) und (iep), sowie Bindegewebe (bg) im Schnitt, die Schale mit ihren 3 Schichten: pe Periostracum, p Prismenschicht, pm Perlmutterschicht, vom Mantel etwas abgehoben, wodurch der Mantelschalenspalt (sp) entsteht.

durch einen kleinen Teil der Schale dar mit dem darunterliegenden Mantel, dessen äußere Epithellage die Absonderung der Schalenschichten zu besorgen hat. Uebrigens ist die Lagerung der Schichten nicht immer so regelmäßig, wie hier dargestellt, sondern zwischen die einzelnen Schichten schieben sich andere, so daß man zwischen Perlmutterlagen wieder Prismen- und andere Periostracumlagen antreffen kann.

Für die Perlenbildung ist die Perlmutterschicht besonders wichtig, weil sie bei edlen Perlen deren äußerste Lage bildet und dadurch ihren Glanz bedingt. Von diesen sehr engen und wichtigen Beziehungen zur Perle rührt auch ihr Name her. Der Perlmutterglanz an der Oberfläche dieser Schicht erklärt sich aus ihrer Struktur. Dadurch, daß sie aus zahlreichen, unregelmäßig weit sich erstreckenden und dann wieder von neuem beginnenden dünnen, durchscheinenden Lagen oder Blättern besteht und die Lichtstrahlen in sehr

Digitized by Google

verschiedener Weise reflektiert werden, kommt es zu den bekannten Interferenzerscheinungen, wie wir sie als Farben dünner Plättchen kennen. Diese Wirkung dürfte verstärkt werden durch kleinste Erhabenheiten und Vertiefungen der Oberfläche von fast mikroskopischer Feinheit, wodurch die irisierende Wirkung noch erhöht wird. In letzter Beziehung gelingt es sogar, die Oberfläche der inneren Muschelschale durch Aufdrücken von Wachs so abzuformen, daß der Abdruck einigermaßen das irisierende Farbenspiel der Schalenoberfläche wiedergibt. Dem Glanz der Perlmutteroberfläche ist derjenige der Perlen selbst zu vergleichen, wie er auch aus den gleichen Ursachen zu erklären ist.

Bei der noch näher darzulegenden großen Uebereinstimmung zwischen der Schalen- und Perlenstruktur lag es nahe, die Perlen auch hinsichtlich ihres Zustandekommens in engste Verbindung mit der Schale zu bringen und sie als einen in Kugelform umgewandelten Schalenteil zu bezeichnen, der mit jener in allen histologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften übereinstimmt, wie schon Heßlings (1859) es darstellte. Ihm gebührt übrigens trotz dieser sehr naheliegenden Auffassung das Verdienst, die wirklichen Perlen von gewissen perlenartigen „Exkreszenzen" der inneren Schalenfläche geschieden und sie als „freie. im Tier vorkommende, aus den Schalenstoffen bestehende Konkretionen" definiert zu haben. Die freien Perlen können nachträglich mit der inneren Schalenfläche in Verbindung gebracht und fest mit ihr verkittet werden, wodurch die sogenannten „Schalenperlen" zustande kommen, die sich äußerlich nur schwer von jenen „Konkretionen" unterscheiden lassen. Andererseits dürften wirklich freie Perlen aus den „Konkretionen" nur äußerst selten hervorgehen, da es nicht recht einzusehen ist, wie sie auch bei schwacher Verbindung mit der Schale zur Ablösung von dieser kommen sollten.

Jene häufig als Perlen bezeichneten, aber besser nicht so zu nennenden Schalenkonkretionen (Wucherungen der inneren Schalenfläche) kommen zumeist infolge von Verletzung der Schale zustande, wie sie von außen her durch bohrende Tiere (Schwämme, Muscheln, Schnecken u. dgl.) oder durch andere mechanische Schädigungen hervorgerufen werden. Beim Ausbessern der Verletzung entstehen dann, wie häufig in solchen Fällen, aus nicht ersichtlichen Gründen unregelmäßige Bildungen und mehr oder weniger umfangreiche Wucherungen an der inneren Schalenfläche. Durch Anbohren der Schale von außen hat man sogar versucht, künstliche Perlen zu erzeugen; darauf beruhte offenbar auch Linnés oft genanntes Verfahren der künstlichen Perlenbildung in der Muschel, indem durch die Bohröffnung noch ein feiner Silberdraht mit einem Kalkkügelchen ins Innere der Muschel geschoben wurde, um welches letztere dann die perlbildenden Lagen sich absondern sollten. Besonders erfolgreich scheinen alle diese Versuche jedoch nicht gewesen zu sein, wenigstens hat man von einer irgendwie bemerkenswerten Perlenerzeugung auf diesem Wege nichts gehört.

In etwas anderer Weise ist ein Verfahren, auf künstliche Weise Perlen hervorzurufen, dadurch ausgeübt worden, daß man Fremdkörper in den Spaltraum zwischen Mantel und Schale, d. h. also in die Gegend der Muschel brachte, wo durch das äußere Mantelepithel neue Schalensubstanz abgeschieden werden konnte. Das geschah dann auch in der Umgebung jener Fremdkörper und auf diese Weise kommen die bekannten, von Perlmuttersubstanz überzogenen Buddahbildchen, Perlschnüre usw. zustande, wie sie besonders in China erzeugt und dort in den Handel gebracht werden. Eine bestimmte Art der Perlenbildung auf natürlichem Wege wird dadurch erläutert; es kommt gelegentlich vor, daß Fremdkörper tierischer, pflanzlicher oder mineralischer Natur in den Raum zwischen Mantel und Schale hinein gelangen und dann ebenso von Schalensubstanz überzogen werden, wie man denn auch gelegentlich kleine Schnecken, Fischchen, Insektenlarven oder ähnliches mit Perlmuttersubstanz überzogen, aber in der Form deutlich erkennbar an der inneren Schalenfläche festgeheftet findet, was oft sehr hübsche und überraschende Bilder gibt. Ist der überzogene Gegenstand rund, kugelförmig, so kann auf diese Weise eine Schalenperle oder auch wohl eine echte, freie Perle zustande kommen, wenn die Verschmelzung mit der inneren Schalenfläche unterbleibt.

Daß Fremdkörper tierischer Natur und zwar lebende, nämlich verschiedenartige parasitische Tiere, den Anstoß zur Perlenbildung geben sollten, ist schon in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts durch De Filippi (1852) und Küchenmeister (1856) behauptet, aber nach mancherlei Widerspruch erst durch die neuen Untersuchungen von Dubois, Jameson, Herdman und Hornell, sowie Seurat zu größerer Sicherheit erhoben worden. Danach sind es Larven oder Jugendformen von Trematoden und Cestoden (Saug- und Bandwürmern), welche in die Muscheln eingedrungen, als Perlenkern dienen, indem sie wie jene anderen Fremdkörper von Schalensubstanz umlagert werden. Aber auch eine ganz andere Ursache gibt zur Entstehung der Perlen Veranlassung und manches spricht dafür, daß diese sogar die überwiegende sein könnte; sie besteht im Auftreten mikroskopisch kleiner, durch den Stoffwechsel der Muschel selbst erzeugter Körnchen, in deren

Digitized by Google

Umgebung zumal im Gewebe des Mantels Schalensubstanz abgelagert wird. Dadurch werden zunächst sehr kleine, sich aber bald vergrößernde Perlen hervorgerufen, wie neuerdings durch die Untersuchungen von A. Rubbel (1911) und W. Hein (1911) gezeigt wurde. Auf diese wie auf die vorher erwähnte Art der Perlenbildung wird noch näher einzugehen sein.

2. Struktur, Farbe, Größe und sonstige Beschaffenheit der Perlen. Da die Perlen recht verschiedenartiger Herkunft sind, wie in dem vorhergehenden Abschnitt gezeigt wurde, so liegt es in der Natur der Sache, daß sie in ihren Eigenschaften nicht völlig übereinstimmen, je nachdem sie von dem oder jenem Tier herstammen bezw. auf diese oder jene Weise entstanden sind. Unter einer Perle pflegt man für gewöhnlich ein rundes Gebilde von weißer bis grauer Farbe und schönem Glanz zu verstehen. Das ist die vom Juwelier oder Laien geschätzte Perle; vom Standpunkt des Naturforschers sind aber auch recht unscheinbare Gebilde mit diesem Namen zu belegen, da sie ganz dieselbe Entstehung wie jene und unter Umständen auch eine entsprechende Struktur und Zusammensetzung besitzen. Letzteres ist jedoch nicht immer der Fall; so zeigen die von der Riesenmuschel (Tridacna) herrührenden Perlen schon äußerlich ein porzellanartiges Aussehen und innerlich erweisen sie sich von einem schollig, kristallinischem Gefüge, während sonst den Perlen ein weit regelmäßigerer Bau zukommt.

Wie erwähnt, können die Perlen aus allen drei Schalenschichten: Periostracum-, Prismen- und Perlmuttersubstanz bestehen. Um den Kern verschiedenen Ursprungs sind die einzelnen Schichten konzentrisch gelagert (Figur 2). Auf Prismenschichten können solche organischer Substanz (Periostracum), auf diese wieder Prismenschichten und darauf Perlmutterschichten folgen. Die Reihenfolge, Zahl und Stärke der Schichten kann dabei eine ganz verschiedene sein. Bei ein- und derselben Muschelart findet man neben solchen Perlen, die aus allen drei Schichten zusammen gesetzt sind, andere, die nur Prismenschichten und zwischen diesen Lagen von Periostracum aufweisen, oder wieder andere, bei denen auch die letzteren fehlen und die Perle somit nur aus Prismenschichten besteht.

Andererseits gibt es Perlen, die sich fast nur aus Perlmutterschichten zusammensetzen, zwischen welchen einzelne, vielleicht auch gar keine Periostracumlagen mehr vorhanden sind. Im Gegensatz hierzu kommen aber auch wieder Perlen vor, welche ausschließlich aus Periostracumsubstanz bestehen.

Es liegt in der Natur der Sache, daß einer so verschiedenartigen Struktur der Perlen eine differente chemische Zusammensetzung, Färbung und sonstige Beschaffenheit entsprechen muß. Was zunächst die erstere betrifft, so ergaben die Analysen verschiedene Resultate, jedoch sollen sie bei edlen Perlen verschiedener Herkunft ziemlich übereinstimmen, wie Harley für die von ihm untersuchten britischen, indischen und australischen Perlen angibt. Das Ergebnis dieser Analyse war:

Kohlensaurer Kalk	91,72 %
Organische Substanz	5,94 %
Wasser	2,23 %
Verlust	0,11 %
	100,00 %

Eine andere von Dubois veranlaßte Analyse edler Perlen ergab ein im ganzen entsprechendes, hauptsächlich bezüglich des Gehalts an organischer Substanz und Wasser etwas abweichendes Resultat, was nach dem vorher Mitgeteilten ebenso begreiflich ist, wie die sehr bedeutenden Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung anderer

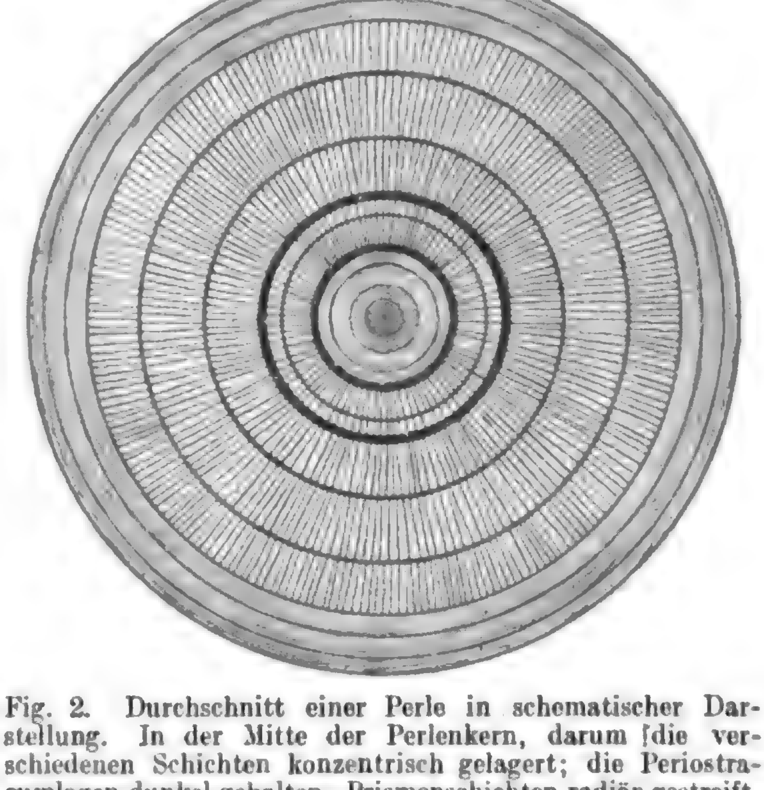


Fig. 2. Durchschnitt einer Perle in schematischer Darstellung. In der Mitte der Perlenkern, darum die verschiedenen Schichten konzentrisch gelagert; die Periostracumlagen dunkel gehalten, Prismenschichten radiär gestreift, dazwischen Periostracumlagen, außen die konzentrisch gestreiften Perlmutterschichten.

Digitized by Google

Perlen, z. B. derjenigen der Steckmuschel, die nur 72,72 % kohlensauren Kalk enthielten. In dieser Hinsicht würden sich bei Fortführung derartiger Untersuchungen noch weit größere Differenzen für die oben charakterisierten verschiedenartigen Perlen ergeben.

Infolge des recht beträchtlichen Gehalts an organischer Substanz ist die Angreifbarkeit durch Säuren nicht so bedeutend, wie gemeinhin angenommen wird, vielmehr pflegt die Perle nach Auflösung des kohlensauren Kalks in ihrer Form erhalten zu bleiben und man kann sie dann nach geeigneter Behandlung noch in Schnittserien zerlegen.

Auch die Härte der Perlen ist weit erheblicher, als man gewöhnlich glaubt und gute Perlen können mit dem Hammer fest bearbeitet werden, ohne zu zerspringen. Ihre Härte kann die des kohlensauren Kalks übertreffen, was wohl durch die Hinzufügung der organischen Substanz zu erklären ist, die ihnen eine stärkere Kohärenz verleihen dürfte. Damit ist jedoch nicht gesagt, daß edle Perlen nicht vor mechanischen Schädlichkeiten, wie Stoß, Reibung u. dgl. ebenso wie vor Berührung mit säurehaltigen Flüssigkeiten sehr in acht genommen werden müßten, weil durch beide zum mindesten ihre Oberfläche und damit ihr Glanz wie ihre Schönheit stark leiden können.

Aus den mit ihrer Struktur und Zusammensetzung in Verbindung stehenden Gründen schwankt auch das spezifische Gewicht der Perlen; es wird für edle Perlen auf 2,650 bis 2,686 angegeben, kann aber auch höher sein (2,724) und andererseits recht weit hinter diesen Zahlen zurückbleiben, wie die für andere, marine und Süßwasserperlen, angegebenen Zahlen: 2,238—1,973—1,910—1,684 und 1,540 zeigen. Das hängt mit dem verschiedenen Gehalt an mineralischen und organischen Bestandteilen zusammen.

Was Farbe und Glanz der Perlen anbetrifft, so wird an den edlen Perlen die weiße Farbe mit prächtigem Perlenglanz am meisten geschätzt und sie verbindet sich unwillkürlich mit dem Begriff der Perle. Sie ist denjenigen Perlen eigen, welche an der Oberfläche die richtige Kombination der Schichten und vor allem dünnere Lagen von Perlmutter in geeigneter Zahl, Anordnung und Stärke besitzen. Dadurch wie von der Beschaffenheit der Oberfläche wird dann der Glanz in ähnlicher Weise bestimmt, wie dies bereits für die Perlmutterschicht, welche die Innenfläche der Schale bildet, besprochen wurde, nur daß hier noch feinere und zartere Strukturen vorliegen, wodurch „Wasser“ und „Lüster“ der Perlen, wie man Farbe, Schmelz und Glanz ihrer Oberfläche nennt, noch erhöht werden.

Nicht immer ist die Färbung edler Perlen eine rein weiße, vielmehr geht sie häufig in Weißgrau, Silberglänzend, Grau, Gelb und verwandte Farbentöne über. Obwohl weiße Perlen im ganzen mehr geschätzt werden, können auch solche von anderer Färbung außerordentlich wertvoll sein, was sich nach ihrem Glanz und manchen anderen Eigenschaften, besonders auch nach Form und Größe richtet.

Wie der Glanz, so dürfte auch die Farbe der Perlen größtenteils mit ihrer Struktur im engen Zusammenhang stehen. Abgesehen von den opalisierenden und irisierenden Farben, welche durch die lamellöse Struktur der äußeren Schichten und die Oberflächenstruktur hervorgerufen werden, kann die Ursache der Färbung auch in der Kombination der gefärbten Periostracumlagen mit den ungefärbten Kalkschichten und darin liegen, wie das Licht von diesen durchgelassen wird. Im einzelnen ist dies schwer zu sagen; jedenfalls findet man Perlen von der verschiedensten Färbung, außer den schon genannten weißen, grauen, gelben alle Farbtöne, die man nur wünschen kann: gelb, rötlich, rot, rotbraun, braun, blau usw. Auch schwarze Perlen sind bekannt und wenn sie schönen Glanz besitzen, sogar recht geschätzt. Bei ein- und derselben Muschelart können sich Perlen von ganz verschiedener Färbung: weiße glänzende, graue, braune, grüne, blaue, auch schwarze Perlen, mit und ohne Glanz finden, je nachdem Perlmutter oder aber Periostracum- und Prismenschichten nach außen zu liegen oder je nachdem die Periostracumschichten gefärbt und von anderen Lagen überdeckt sind.

Aber natürlich spielt bei der Färbung der Perlen auch ihre Herkunft ein Rolle, d. h. von welchem perlenerzeugenden Tier sie stammen; so bringt die Steckmuschel (*Pinna*) mit Vorliebe gelbrote, der Färbung ihrer inneren Schalenschicht entsprechende Perlen hervor, während diejenigen der Miesmuschel (*Mytilus*) zwar weiß gefärbt, aber stumpf und glanzlos sind. Die Perlen von *Tridacna* erscheinen, ebenfalls in Uebereinstimmung mit der Schalenstruktur, porzellanartig weiß. Ebenso besitzen die Perlen von *Strombus* eine mit der inneren Schalenfärbung übereinstimmende zarte Rosatönung und auch die Perlen einer anderen Schnecke, des Seeohrs (*Haliotis*), zeigen insofern mit der Perlmutterschicht ähnliche Verhältnisse, als sie grün gefärbt sein können.

Gestalt und Größe. Unwillkürlich pflegt man den Perlen von vornherein eine runde Form zuzuschreiben und tatsächlich weisen sie häufig eine solche auf. Jedenfalls wird an edlen Perlen die Kugel- oder ovale Gestalt bei weitem am meisten geschätzt. Wenn sie dabei noch eine ansehnliche Größe besitzen, so steigt ihr Wert außerordentlich. Der Umfang der Perlen ist sehr verschieden. Es gibt Perlen mit allen charakteristischen

Digitized by Google

Eigenschaften von mikroskopischer Kleinheit bis zu solchen von der Größe einer Walnuß oder eines Taubeneies, ja noch darüber hinaus. Edle, fehlerlose und wohlgeformte Perlen übertreffen freilich nur selten die Größe einer Haselnuß; solche von 80, 100 oder gar 125 Karat (das Karat zu 205,3 mg) sind schon ungewöhnlich groß, ja runde, weiße Perlen mit schönem Glanz von 40 bis 50 Karat gelten bereits für sehr umfangreich und stehen hoch im Preis; Unregelmäßigkeiten und Abweichungen von der kugelförmigen oder ovalen Gestalt vermindern den Wert, sind aber gerade bei großen Perlen sehr häufige Erscheinungen.

Längliche oder an einem Ende zugespitzte (birnförmige) Perlen kommen häufig vor und wenn sie einen schönen Glanz besitzen, können sie noch immer recht wertvoll sein. Derartig unregelmäßig gestaltete Perlen finden sich mit Vorliebe in der Ligamentfalte des Mantels oder auch am Schließmuskel vor, werden daher als Ligament- oder Muskelperlen bezeichnet; letztere liegen oft in größerer Zahl nebeneinander, wodurch Verschmelzungen und weitere Gestaltsveränderungen eintreten. Es gibt Perlen von abgeplatteter, halbkugel-, linsen-, nieren-, birn-, stab-, traubenförmiger und noch mancher anderen Gestalt. Die von der Kugel- oder Ellipsoidform abweichenden, zumal die ungewöhnlich geformten, umfangreichen Perlen pflegt man Barockperlen zu nennen.

Größere als Perlen bezeichnete Stücke, wie sie vielfach im Handel anzutreffen sind und zu Schmuckstücken oder im Kunstgewerbe Verwendung finden, dürften in vielen Fällen nicht eigentlich freie Perlen, sondern Schalenperlen oder gar nur Auswüchse der inneren Schalenfläche sein, von denen schon vorher die Rede war. Wenn die Stelle, an welcher früher die Verbindung mit der Schale bestand, durch die Bearbeitung und Fassung verdeckt ist, so läßt sich die Frage, ob man es mit einer wirklichen Perle, Schalenperle oder Schalenwucherung zu tun hat, ohne Zerstörung des Schmuckgegenstandes schwer entscheiden. Auf die Schalenperlen und die durch Verwachsung entstehenden, unregelmäßig geformten Perlen wird im nächsten Abschnitt noch zurück zu kommen sein.

3. Perlenbildung. Wie schon vorher erwähnt wurde, können die Perlen im Muschelkörper auf verschiedene Weise zu stande kommen. Nach den neueren an Süßwassermuscheln (Margaritana von Rubbel und Hein 1911) ausgeführten Untersuchungen geht die Perlenbildung von kleinen, ihrer Natur nach schwer erkennbaren, vielleicht als Reservestoffe für die Schalenbildung aufzufassenden gelben Körnchen aus, die sich im Gewebe des Mantels verteilt finden. Diese Körnchen werden in Verbindung mit dem Mantelepithel von einer einschichtigen Zellenlage umgeben (Fig. 3), innerhalb welcher dann die Abscheidung der die Perle bildenden Schichten erfolgt. Die in Ausbildung begriffene Perle liegt also in einem Epithelsäckchen, dem Perlsack (Figur 3—6), wie er schon von den früheren Autoren (Dubois, Jameson, Herdman und Hornell, Seurat) beschrieben wurde.

Wie es bei der Bildung der Schale das Epithel des Mantels tut, so hat also hier dasjenige des Perlsacks die verschiedenen Schichten (Periostracum-, Prismen- und Perlmutterschicht) abzusondern und in der Tat sieht man diese Schichten allmählich in konzentrischer Lagerung um den Perlenkern auftreten (Fig. 4 und 5). Dabei vergrößert sich mit der Volumzunahme seines Inhalts auch der Perlsack; sein Epithel wird flacher und er verliert schließlich die Verbindung mit dem Mantelepithel, indem er von diesem abrückt (Fig. 6). Nunmehr liegt er frei im Bindegewebe des Mantels und derartige Bilder gaben zu der naheliegenden Vermutung einzelner Autoren Veranlassung, das Perlsack-

Fig. 3.

Fig. 4

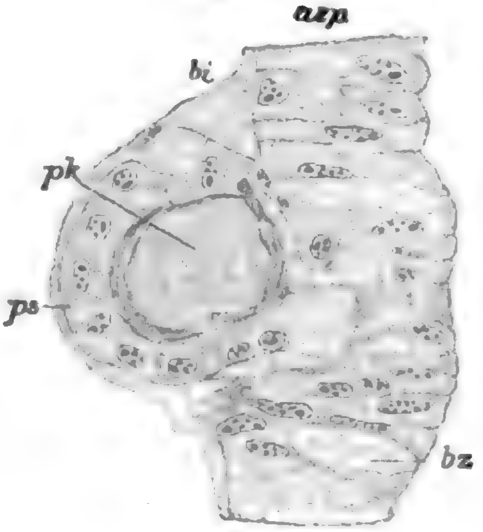


Fig. 3 und 4. Bildung des Perlsacks (ps) in Verbindung mit dem Außenepithel (aep), pk Perlenkern, bi Bindegewebe des Mantels, bz Becherzellen im Außenepithel (aep). Nach Rubbel.

Digitized by Google

epithel möge von Bindegewebszellen herrühren. Da man jedoch in manchen Fällen seine Herleitung vom Mantelepithel verfolgen kann und da es ganz die gleichen Funktionen wie dieses zu erfüllen, nämlich die den Schalenlagen entsprechenden Perlenschichten abzuscheiden hat, so ist seine Abstammung vom Epithel recht wahrscheinlich. Die weiteren Vorgänge der Perlbildung bestehen in der Ablagerung neuer Schichten und dem dadurch bedingten Wachstum.

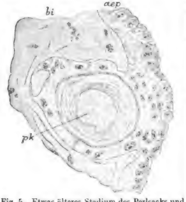


Fig. 5. Etwas älteres Stadium des Perlsacks und der Perlenbildung: um den Perlenkern (pk) konzentrische Schichten von Schalensubstanz. Nach Rubbel.

bringen, wenn es viele sind, die bekannte Traubenform der Perlen mit sich. Es wurde schon vorher erwähnt, daß solche Anhäufungen kleiner, leicht verschmelzender Perlen mit Vorliebe am Schließmuskel auftreten.

Wie die Verschmelzung der Perlen unter sich, kann sie auch mit der Schale erfolgen, wobei der Vorgang ein ganz ähnlicher ist. Der an Umfang stetig zunehmende Perlsack kann sich von neuem an das Mantelepithel

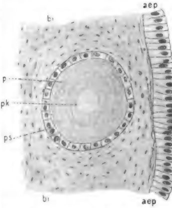


Fig. 6. Perlsack (ps) im Bindegewebe (bi) des Mantels, aep dessen Außenepithel, p Perle, pk Perlenkern. Etwas schematisiert.

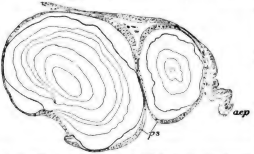


Fig. 7. Zwei in der Nähe des Mantelaußenepithels (aep) gelegene Perlsäcke (ps) in naher Berührung. Nach Rubbel.

herandrängen und mit ihm verschmelzen (Fig. 8). Indem dann hier wohl infolge des Drucks das Epithel schwindet, ist der Zugang zur Schale frei und da vom Perlsackepithel immer neue Schalensubstanz ausgeschieden wird, so erfolgt die Verkittung mit der innerlichen Schalenfläche; die **Schalenperle** ist in Ausbildung begriffen (Fig. 9, 10) und braucht nur weiter zu wachsen, um zu einer der umfangreichen Schalenperlen zu werden, wie sie vorher erwähnt wurden.

Wenn junge Perlen bezw. Perlsäcke in ziemlicher Nähe aneinander liegen, so berühren sie sich leicht mit fortschreitendem Wachstum und indem an der Berührungsstelle das Perlsackepithel schwindet (Fig. 7), kommt es zu einer Verschmelzung der beiden Perlen. Solche zu zweien oder mehreren verschmolzene Perlen kommen häufig vor und

Die letzten wie auch die weiteren Wachstumsvorgänge gelten in übereinstimmender Weise für Süßwasser- wie für Meeresperlmuscheln; dagegen hat die Ursache der Perlenbildung für die letzteren eine besondere, von dem vorstehend geschilderten Vorgang abweichende Darstellung gefunden. Wie schon oben erwähnt, fand für die marinen Muscheln

Digitized by Google

die ältere, von de Filippi seinerzeit für die Flußmuscheln vertretene Auffassung von der parasitären Entstehung der Perlen wieder neue Anerkennung. Die Forscher, welche

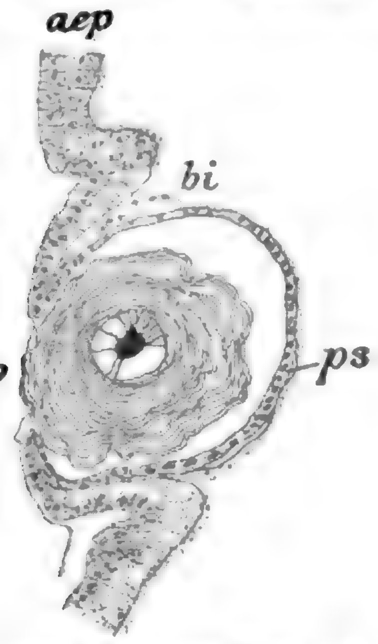


Fig. 8. Gegen die Außenfläche des Mantels offener Perlsack (ps), von der jungen Perle (p) etwas abgehoben, bi Bindegewebe, aep Außenepithel. Nach Rubbel.

sich neuerdings mit der Frage beschäftigten (Dubois, Jameson, Herdman und Hornell, Seurat), legen ein großes Gewicht auf die Parasiten als Ursache der Perlenbildung und suchen sie als solche nachzuweisen. Als Untersuchungsobjekt diente dabei sowohl die Perlmuschel selbst, wie auch und zwar vor allem die Miesmuschel. An ihr sind besonders die Untersuchungen von Dubois, Jameson und Boutan ausgeführt worden.

Ohne hier auf Einzelheiten eingehen zu können, sei als das Wesentliche nur folgendes hervorgehoben. Junge Distomeen oder Distomeenlarven (von Jameson als Leucithodendrium somateria, von Dubois als Gymnophallus margaritarum bezeichnet) gelangen, auf welchem Wege bleibe hier unerörtert, in den Körper der Muschel hinein und liefern in ähnlicher Weise, wie es vorher für die „gelben Körnchen“ der Flußperlmuschel dargestellt wurde, den Ausgangspunkt für die Perlenbildung, indem sie vom Mantelepithel aus oder durch im Bindegewebe verteilte Zellen von einem Perlsack umgeben werden. Die Abscheidung der Schichten durch diesen und die weitere Ausgestaltung der Perle würde dann im ganzen so verlaufen, wie dies oben für Margaritana geschildert wurde. Hier interessiert vor allem das weitere Schicksal des Parasiten, welchem die Muschel nur als Zwischenwirt dient und der seine endgültige Ausbildung gewiß in solchen Tieren erreicht, welche sich von den Miesmuscheln nähren. Das könnten größere Fische, aber auch Schwimmvögel (Trauer- oder Eiderenten) sein, doch steht der offenbar schwer zu erbringende Nachweis hierfür noch aus und die Autoren sind in dieser Hinsicht recht verschiedener Meinung.

Ebensowenig sind diese Verhältnisse für die Perlmuscheln geklärt, bei denen es sich um Cestodenlarven handeln würde (Herdman und Hornell, Seurat). In verschiedenen Organen der Margaritifera vulgaris und M. margaritifera fand man sog. Scoleces von Bandwürmern, welche zur Gattung Rhynchobothrius gehören sollen. Im Mantelgewebe würden sie, in ähnlicher Weise wie vorher geschildert von einem Perlsack umgeben, die Perlenbildung veranlassen, die auch hier im weiteren Verlauf sich ent-

Fig. 9.

Fig. 10.

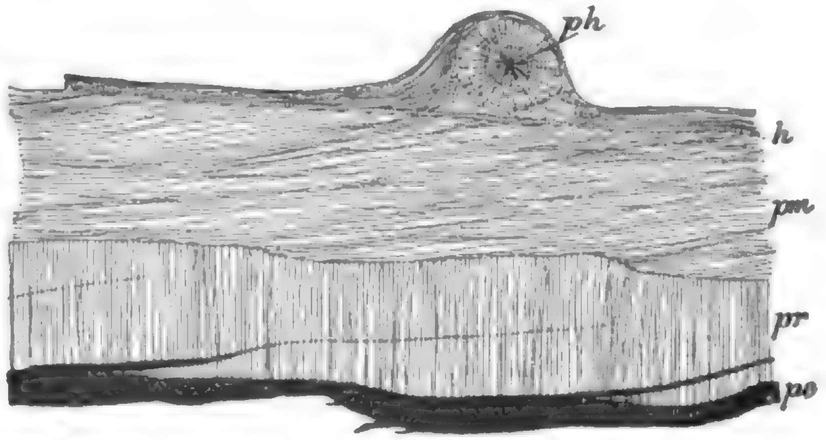


Fig. 9 und 10. Verschmelzung kleiner Perlen (ph) mit der Schale, bezw. deren heller Schicht (h), aus der auch die Perlen bestehen (ph), pm Perlmutter, pr Prismen-, pe Periostracumschicht. Nach Rubbel.

Digitized by Google

sprechend wie bei den anderen Muscheln verhält. Von den Jugendstadien der betreffenden Bandwürmer nimmt man an, daß sie im Darm von Rochen oder anderen großen Fischen, denen die Muscheln zur Nahrung dienen, die Geschlechtsreife erlangen.

Man sieht, daß auch da, wo es sich um Parasiten handelt, die Ursache zur Perlenbildung eine verschiedene ist, was kaum besonders überraschen wird. Ferner können die Ursachen zur Bildung der Perlen, mindestens der Schalen-, wahrscheinlich aber auch der freien Perlen, irgendwelche andere kleinere Fremdkörper sein, die auf schwer kontrollierbarem Wege an und in den Mantel sowie in den Mantel-Schalenraum gelangten. Endlich lernten wir als hauptsächliche Ursache der Perlenbildung bei der Flußperlmuschel jene im Stoffwechsel der Muschel erzeugten Körnchen kennen. Die Vermutung liegt sehr nahe, daß diese letztere Ursache auch bei den marinen Muscheln in Frage kommt und fast sollte man annehmen, daß sie dort ähnlich wie bei den Süßwassermuscheln eine Rolle spielt, möglicherweise mehr noch als die Parasiten. Angaben einzelner Autoren (Dubois, Jameson, Herdman u. Hornell), wonach Parasiten als Perlenkerne bei marinen Muscheln in manchen Fällen nicht gefunden wurden, sprechen für diese Auffassung. Gewiss können Parasiten außerdem und vielleicht mehr noch als andere Fremdkörper die Ursache bilden, daß aber in dieser Beziehung so große Differenzen zwischen marinen und Süßwassermuscheln beständen, ist nicht besonders wahrscheinlich. Vorläufig sind dies freilich nur Annahmen und erst weitere Untersuchungen an Meeresmuscheln können darüber sichere Auskunft geben.

4. Gewinnung und Verwertung der Perlen. Abgesehen von den Süßwassermuscheln Europas, Asiens und Amerikas liefern die oben genannten marinen Perlmuscheln der Küsten des Persischen Golfs, Indiens, besonders Ceylons, des Malayischen Archipels, Australiens und Mittelamerikas bei weitem die meisten und schönsten Perlen. Da nur verhältnismäßig wenig Muscheln große und gute Perlen enthalten, ist die Zahl der für die Perlengewinnung durchsuchten und vernichteten Muscheln leider eine sehr bedeutende. Hunderte von Muscheln werden meist vergeblich geöffnet, ehe man eine brauchbare oder wirklich wertvolle Perle darin findet. — Der Fang geschieht so, daß an den Küsten, wo die Muscheln in genügender Menge vorkommen, zu den von der Regierung freigegebenen Zeiten mit mehreren Ruderern und Fischern bemannte Boote den ganzen Tag hinausfahren. Die von Jugend an dafür eingeübten Taucher lassen sich hinab und tauchen in kürzester Zeit (in einer, zwei oder drei Minuten, selten später) wieder auf, nachdem sie eine Anzahl ergriffen und in einem Netz untergebracht haben. Darauf beginnt das Tauchen von neuem. Gegen Abend kehren die Boote ans Land zurück. Die Muscheln werden je nachdem bald geöffnet oder hingelegt bis sie absterben und erst dann untersucht, wenn sich die Schalen öffnen. So werden Tausende und Abertausende von Perlmuscheln vernichtet; man berechnet die Zahl der gesammelten Muscheln in einzelnen dieser Kampagnen an der ceylonesischen Küste auf 30 bis 40 Millionen.

Um die enorme Vernichtungsziffer zu verringern, hat man neuerdings, nach dem Vorgang des französischen Forschers Dubois in Ceylon das Röntgenverfahren mit Erfolg zur Anwendung gebracht und es ist dort durch den amerikanischen Ingenieur J. Salomon sogar eine radiographische Anstalt eingerichtet worden. Wenn dieses Verfahren, nach dem nur diejenigen Muscheln, welche wirklich größere Perlen in ihrem Inneren erkennen lassen, geopfert, die anderen aber geschont und ins Meer zurück gebracht werden, weitere Verwendung fände, so würde dies gewiß eine wichtige Förderung der Perlengewinnung bedeuten.

An Schonung der Perlmuscheln hat man schon immer gedacht, indem das Fischen zumeist nur in geringen Zeiträumen gestattet wurde, die man dann noch zu verlängern pflegte, wenn der Erfolg des letzten Fischzugs ein ungünstiger gewesen war. Daß hauptsächlich ältere Muscheln die größeren Perlen beherbergen, ist eine sowohl an marinen wie an Süßwassermuscheln gemachte Erfahrung. Schon aus diesem Grunde ist es erwünscht, die Muscheln zu hegen, was man auch dadurch förderte, daß nur in bestimmten Bezirken danach gefischt werden durfte, andere aber unberührt gelassen werden mußten. Das eigentliche Hegen der Meeresperlmuscheln, ihre Unterbringung an geschützten Oertlichkeiten oder in großen Bassins, Aussetzen von Larven usw. scheint vorläufig keine bedeutenden Resultate erzielt zu haben.

Immer wieder und schon von alters her hat man begreiflicherweise an die Hervorbringung von Perlen auf künstlichem Wege gedacht und sie durch Einführung kleiner Fremdkörper in die Muschel zu befördern gesucht. Bis zu einem gewissen Grade gelingt dies auch und halbkugelförmige, auf diese Weise gewonnene Perlen wurden von Japan aus in den Handel gebracht. Mehr noch ist dieses Verfahren an Süßwassermuscheln, besonders in China geübt worden, wobei es sich allerdings weniger um die Erzeugung eigentlicher Perlen als um die Bedeckung besonders geformter Gegenstände mit Perlmuttersubstanz handelte, in welcher Beziehung die in die Muschel gebrachten kleinen Ketten oder Buddahbildchen schon vorher erwähnt

Digitized by Google

wurden, ebenso wurde darauf hingewiesen, daß diese zwischen Mantel- und Schaleninnenfläche gebrachten Gegenstände zumeist mit der letzteren verschmelzen, also auch wenn sie rund sind, keine echten freien Perlen liefern.

Bei den Süßwassermuscheln ist die Gewinnung der Perlen eine einfachere, aber durch ihre leichtere Zugänglichkeit sind diese Tiere weit größeren Gefahren ausgesetzt und wurden dementsprechend in Kulturländern an Zahl so stark verringert, daß die von ihnen ausgehende Perlenproduktion dort nur noch wenig in Betracht kommt; es sei denn, daß sie auf Grund der neueren Erfahrung über die Perlenbildung und durch sorgsames Hegen der Muscheln wieder gehoben werden könnte, wozu die ebenfalls fortgeschrittene Kenntnis ihrer Entwickelungsbedingungen beitragen würde. — Daß die Flußperlmuscheln fast, wenn nicht ebenso wertvolle Perlen liefern können wie die Meeresmuscheln wird durch die Schätze an derartigen Perlen erwiesen, welche sich noch jetzt in dem Dresdener und Münchener Kronschatz, wie in anderen Sammlungen finden, abgesehen von den schönen Perlen, welche auch heute noch von Margaritana, wie von den asiatischen und amerikanischen Unioniden gewonnen werden.

Bei uns leben die Perlmuscheln in klaren Bächen mit sandigem und steinigem Grund meist gruppenweise oder zu größeren Bänken vereinigt, den marinen Perlmuscheln darin nicht unähnlich. In Sachsen und Bayern, welche deutschen Länder für die Perlengewinnung vor allem in Betracht kommen, hat man sie sorgfältig gehegt und aus der Perlfischerei sogar ein fürstliches Regal gemacht, welches sich im sächsischen Elstergebiet durch Jahrhunderte in einer bestimmten Familie forterbte. Wenn der Ertrag wohl auch nie recht bedeutend war, so scheint er doch immerhin gelohnt zu haben und jedenfalls legte man Gewicht darauf, im eigenen Lande diese kostbaren Juwelen gewinnen zu können. Die durch vorsichtiges Befischen der Perlenbäche, durch Verhüten der Beraubung und sonstigen Störung geübte Schonung der Muscheln wird auch dadurch noch erhöht, daß man sie mit einem zangenartigen Instrument nur wenig öffnet, um sie auf das Vorhandensein von Perlen zu prüfen und dann wieder in den Bach zurückzubringen. Die schwer zu vermeidende Verunreinigung der Wasserläufe drängt die Flußperlmuschel mit der fortschreitenden Industrie bei uns immer weiter zurück und auch in den anderen europäischen Ländern scheinen die Verhältnisse ähnlich zu liegen, etwas günstiger wohl noch in Schottland, Skandinavien und Rußland, wo diese Gefahren für die Muscheln keine so großen sind. Bessere Lebensbedingungen finden dagegen die Unioniden, wie es scheint, in Asien und Amerika, von wo denn auch noch Perlen und Schalenperlen in größerer Zahl geliefert werden.

Bei der naturgemäß mehr in die Menge gehenden Gewinnung der marinen Perlen haben sich gewisse Gebräuche herausgebildet, um die Perlen nach ihrem Wert zu schätzen und voneinander zu scheiden. Das zunächst angewendete sehr einfache Verfahren besteht darin, daß man die gewonnene Ausbeute eines Fanges in übereinander liegende, mit verschieden weiten Oeffnungen versehenen Siebe bringt und dadurch die mit besonderen Namen belegten Perlen verschiedener und ganz bestimmter Größe voneinander sondert. Natürlicherweise kommt aber nicht nur die Größe, sondern neben der regelmäßigen Form vor allen Dingen Farbe und Glanz (Wasser uhd Lüster) der Perlen in Betracht. Danach unterscheidet man in Ceylon folgende 8 Perlensorten: 1. Annis, 2. Annadari, 3. Kayerel, 4. Samadiem, 5. Kallipu, 6. Kurwel, 7. Pesul, 8. Tul. Die zuerst angeführten beiden Sorten sind große, runde Perlen mit brillantem Lüster, von denen die anderen Sorten allmählich zu kleinen, weniger regelmäßig geformten, nicht mit so ausgezeichnetem Glanz versehenen und schließlich zu den kleinen Tul oder Saatperlen der 8. Sorte hinabsteigen.

Der Wert der Perlen richtet sich nach verschiedenen Eigenschaften, bis zu einem gewissen Grade auch nach der Mode oder danach, wie sie in Form, Farbe und Glanz zusammenpassen. So pflegen zwei ganz gleiche Perlen verhältnismäßig viel höher bewertet zu werden, als es dem Wert der einzelnen entspricht oder eine größere Zahl in Größen abgestufter und für eine Halskette geeigneter Perlen erzielen einen weit höheren Preis, als es bei den einzelnen Perlen der Fall gewesen wäre, weil es nicht ganz leicht ist, in Farbe und Glanz zueinander passende Perlen aufzufinden. Eine kleinere Perle von brillantem Lüster kann unter Umständen im Preis viel höher stehen als eine größere von weniger gutem Glanz oder ungleichmäßiger Färbung. Somit ist die Schätzung des Wertes nicht ganz einfach, wie sie denn schließlich eine Sache der Erfahrung und Uebung ist; nach Größe und Gewicht allein kann sie nicht vorgenommen werden, obwohl letzteres zunächst als Unterlage dient. Wenn nicht Besonderheiten vorliegen, d. h. wenn es sich nicht um exorbitant große, prachtvolle, oder andererseits um wegen ihrer Form- oder anderer Fehler minderwertige Perlen handelt, pflegt der Wert edler Perlen nach einem schon seit langer Zeit geübten Verfahren geschätzt zu werden. Eine einkaratige Perle von (in Form, Glanz, Farbe usw.) gleicher Beschaffenheit wird gewissermaßen als Einheit angenommen und ihr Preis wird, um denjenigen einer größeren Perle von

Digitized by Google

gleichen Eigenschaften zu bestimmen, mit dem Quadrat des Gewichtes der großen Perle und das Produkt noch mit der Zahl 8 multipliziert. Hätte also z. B. die einkaratige Perle den Wert von 3 M., so berechnet sich derjenige einer fünfkaratigen Perle von ungefähr gleicher Beschaffenheit auf: 3.5.5.8. = 600 M. Bei wirklich guten, schönen und edlen Perlen von hervorragendem Glanz steigt also der Wert mit zunehmender Größe sehr bedeutend, aber bei besonders großen und ausgezeichneten Perlen kommt noch ein bloßer Schätzungswert hinzu, welcher den auf die genannte Weise normierten noch bedeutend übertrifft. Derartige Stücke sind dann nur für die Besitzer großer Vermögen erschwinglich und sind mit Hunderttausenden bezahlt worden. Solche berühmt gewordene, bis zu einer halben Million und darüber geschätzte Perlen sind aus dem Altertum und Mittelalter wie aus der neuen Zeit bekannt und ähnlich wie die größten Diamanten in ihrem Schicksal verfolgt worden. Wer sich dafür interessiert, findet in den Werken von Möbius, Heßling, Kunz und Stevenson nähere Auskunft, in welchem letzteren solche kostbare Perlen in reicher Auswahl abgebildet sind.

Verwertung und Verarbeitung der Perlen können hier nur kurz berührt werden. Es ist eine bekannte Tatsache, daß Perlen bereits in vorgeschichtlicher wie in althistorischer Zeit mit Vorliebe Verwendung und seitdem in unvermindertem Maße bis auf unsere Zeit die gleiche Wertschätzung fanden. Gräberfunde, bildliche Darstellungen, die Berichte römischer Schriftsteller und zum Teil auch noch die Objekte selbst geben darüber Auskunft. Jn letzterer Hinsicht handelt es sich zumeist um Perlen, die zum Schmuck von Kronjuwelen und kirchlichen Geräten, heiligen Büchern und derartigem verwandt wurden und durch deren sorgfältige Aufbewahrung selbst aus den frühen Jahrhunderten der christlichen Zeitrechnung bis auf uns gelangten.

Mit den einzelnen berühmten Perlen ist das freilich nicht der Fall gewesen; sei es, daß sie im Laufe der Jahrhunderte verloren gingen, sei es, daß sie unscheinbar wurden und infolgedessen keine Beachtung mehr fanden. Leider sind die Perlen in weit höherem Maße als die Edelsteine Veränderungen ausgesetzt und es ist ihr Schicksal, in nicht allzulanger Zeit, je nachdem in 50, 100 oder 150 Jahren, vielleicht auch in etwas längerer, häufig aber auch in noch kürzerer Zeit, ihren schönen und an ihnen besonders hoch gewerteten Glanz allmählich zu verlieren. Wenn wir sie auch als verhältnismäßig feste und widerstandsfähige Gebilde kennen lernten, so genügt dies doch nicht, um ihnen für die Dauer den schönen Glanz ihres Aeußeren zu bewahren. Durch irgendwelche mechanische oder chemische Einflüsse, Licht oder Temperatureinwirkung, Feuchtigkeit, zu große Trockenheit, Säuregehalt der Luft oder was es auch sei, können die Perlen, zumal an ihrer Oberfläche, aber auch tiefer gehend verändert werden und verlieren dann zunächst ihren Glanz, werden also unscheinbar und deshalb nicht mehr geschätzt. Dauern die schädlichen Wirkungen lange an, so kann die Perle unter ihrem Einfluß schließlich ganz vernichtet werden und zerfallen, wie es die in Gräbern aufgefundenen, aus früheren Jahrhunderten stammenden Perlen erkennen ließen.

Perlen, die nur geringe Veränderungen oder auch von vornherein gewisse Fehler zeigten, hat man zu verbessern gesucht, in welcher Hinsicht das sogenannte „Schälen" von geübten Arbeitern mit großem Geschick und gutem Erfolg angewendet wird. Mit feinen Messern, Feilen und Perlmutterpulver, durch Reiben auf Zeug- und Lederlappen können Verbesserungen an Perlen vorgenommen werden, wodurch sie neuen Glanz gewinnen, Flecken oder Unregelmäßigkeiten der Form verlieren usf. Zumeist kommt es dabei auf Entfernen oberflächlicher Schichten an, wodurch darunterliegende von besserem Glanz freigelegt werden. Dies richtig zu beurteilen und dabei die Perle an Gewicht nicht zu sehr zu vermindern oder sonst zu schädigen ist nicht leicht und erfordert viel Geschick.

Wertvolle Perlen sollten stets unter Anwendung gewisser Vorsichtsmaßregeln, nicht in feuchten, aber auch nicht zu trocknen, etwa der Sonnenbestrahlung ausgesetzten Räumen, besonders auch nicht in solchen aufbewahrt werden, deren Luft infolge von Kohlenheizung säurehaltig sein kann. Nach dem Tragen sollten sie vorsichtig unter Benutzung eines weichen (in warmes Wasser mit etwas Alkohol getauchten) Tuches abgerieben und zwischen weichen Stoff gelegt werden. Stets sorgfältig und gut aufbewahrte Perlen haben sich aus der Mitte oder gegen Ende des 18. Jahrhunderts bis jetzt mit schönem Glanz erhalten. Was man über die Wiederherstellung des Glanzes erblindeter Perlen zu hören und lesen bekommt, ist zum mindesten recht problematischer Natur; man will sie erfolgreich mit gekochtem Reis und Reispulver oder solchem aus geröstetem Korn behandelt, in Brot eingebacken, mit Salz, Magnesia, Alabaster und Korallenpulver gerieben, an Tauben, Enten, Hühner verfüttert und deren Kropf wieder entnommen haben. Es wird von allen diesen und anderen Mitteln behauptet, sie könnten blinde Perlen wieder glänzend machen; einige davon möchte man eher für schädlich halten, wie es für das Verfüttern auch durch Versuche direkt erwiesen wurde, aber es könnten wohl einmal durch Zufall infolge der Reibung gewisse den

Digitized by Google

Glanz behindernde Teile bei diesen Methoden entfernt und glänzendere Schichten zutage gebracht werden, so daß jene Verfahren wirksam zu sein schienen oder es mehr zufälligerweise auch waren. Was die mancherlei Erzählungen von einer Sanierung der Perlen durch Tragen auf der bloßen Haut betrifft, so würde man von vornherein vielmehr das Gegenteil annehmen, nämlich daß die von der Haut abgeschiedenen Sekrete den Perlen eher schädlich als nützlich sind.

Um sie gebrauchsfähig zu machen, bedürfen die Perlen einer gewissen Bearbeitung, für welche vor allen Dingen das Bohren in Betracht kommt. Es muß sehr sorgfältig vorgenommen werden und geschah früher mit der Hand, während es jetzt mit eigens dafür konstruierten Maschinen vorgenommen wird. Die Bohrlöcher müssen so gewählt werden, daß die Schönheit der Perle möglichst zur Geltung kommt und weniger gute Stellen getroffen werden, wozu ein gewisses Dirigieren des Bohrkanals erforderlich ist. Hierzu und um die Perle vor dem Springen oder Abbröckeln zu bewahren, gehört ebenfalls viel Erfahrung. Die weitere Bearbeitung und Verwertung der Perlen richtet sich ganz nach ihrer Beschaffenheit, besonders auch nach der Form, indem kugelrunde oder ovale, überhaupt ringsum regelmäßig geformte Perlen zu Ketten, Diademen, Ohrgehängen oder derartigen Schmuckstücken verwendet werden, wobei ihre Form zur Geltung kommt, während andere an einer Stelle fehlerhafte, weniger glänzende, abgeplattete oder sonstwie deformierte Perlen gefaßt werden, um diese Schäden zu verdecken und doch noch den Eindruck einer edlen, scheinbar fehlerlosen Perle hervorzubringen. In höherem Maße wird dies bei noch unregelmäßiger geformten, bei Schalenperlen oder den vorher erwähnten perlenähnlichen Schalenwucherungen der Fall sein. Derartige Gebilde werden häufig als Barockperlen in geeigneter Weise zu Schmuck- oder Ziergegenständen in Form von Menschen- oder Tiergestalten verarbeitet, wofür die reiche Sammlung des Dresdener Grünen Gewölbes, sowie diejenigen von Wien, Paris, London, Kopenhagen und Venedig Beispiele zur Genüge bieten.

Einer Verwendung der Perlen, nämlich als vermeintliches Heilmittel sei nur kurz gedacht. In früheren Jahrhunderten und in weniger kultivierten Ländern bis in unsere Zeit hinein war man der Meinung, daß Perlen in Pulverform oder gelöstem Zustand ein Mittel gegen leichtere und schwerere Erkrankungen des Darmes, Herzens, der Lunge und des Nervensystems darstellten und in der Tat Heilwirkung erzielt hätten. Daß dies wenig Wahrscheinlichkeit hat, braucht hier kaum besonders erwähnt zu werden.

Wie Perlen und perlenartige Bildungen so werden im Kunstgewerbe auch die Schalen der Perlmuscheln, d. h. vor allen Dingen ihre inneren Teile, die Perlmutter, verwendet. Da wo die Perlmuscheln in Menge gefangen werden, ergab es sich von selbst, ihre Schalen, so weit sie schöne Färbung und Glanz zeigten, weiter zu verwerten. Im sächsischen Vogtland hat sich auf diese Weise eine blühende Industrie herausgebildet, die nun nicht mehr nur die im Inland gewonnenen Schalen verwertet, sondern den bei weitem größeren Teil von außen bezieht. Perlmutter liefern außer den Süßwasser- und Meeresmuscheln auch die schon genannten marinen Schnecken Turbo, Cassis, Haliotis, Strombus, wie auch der Nautilus. Die Oertlichkeiten, von welchen Perlmutter bezogen wird, entsprechen im allgemeinen den schon früher angeführten, an denen Perlfischerei getrieben wird, doch werden gewisse Sorten, wie die von Macassar, Bombay, Sydney, Manilla, Panama, Tahiti bevorzugt. Der verschiedenen Herkunft entsprechend ist auch die Färbung der Perlmutter eine recht differente, vom fast reinen Weiß bis Grau mit schönem Silberglanz, gelber Tönung, rot, blau, grün usf. Von den Schalen werden die zu verwertenden inneren Partien abgelöst, um weiter in Stücke zerlegt und verarbeitet zu werden. Dies geschieht zur Herstellung von allen möglichen Kunst-, Schmuck- und Gebrauchsgegenständen, wie auch zu derjenigen der Kameen (Cassis, Strombus), eine besonders in Italien geübte Industrie. Uebrigens stellt man unter Verwendung von Gelatine und Perlenessenz auch künstliche Perlmutter her, wie man seit alten Zeiten künstliche Perlen fabriziert.

Künstliche Perlen, welche den echten freilich oft recht wenig gleichen, werden aus den verschiedensten Stoffen: Steinnuß, Korallen, Bernstein, aus Zähnen, aus Metall und Metallegierungen mit und ohne Emaille, aus Alabaster und anderen Mineralien oder Mineralgemengen, aus Glas usw. hergestellt. Diejenigen, welche die Originale noch am ehesten erreichen, wurden ebenfalls schon seit langer Zeit auf die Weise gewonnen, daß in zarteste Glasbläschen ein wenig (aus den Schuppen der Ukelei, eines Weißfisches, gewonnene) Perlenessenz hineingebracht wird, so daß diese silberglänzende Substanz das Innere auskleidet, welches dann mit Wachs gefüllt wird. Auf diese Weise und neuerdings durch Verwendung von Celluloid und Wasserglas kommen „Perlen" zustande, die weit eher als jene anderen Nachahmungen mit den echten Perlen vergleichbar sind. In neuerer Zeit ist mit dem Fortschreiten der Industrie und durch Anwendung anscheinend verbesserter Methoden die Fabrikation künstlicher Perlen sehr vervollkommnet worden, so daß diese

in der Tat den echten Perlen in ihrer äußeren Beschaffenheit recht nahe kommen und nicht einmal leicht davon unterschieden werden können, wenn sie auch freilich in ihrem ganzen Aufbau mit jenen nicht vergleichbar sind und die edelsten Perlen in ihrem subtilen Glanz nicht zu erreichen vermögen.

Literatur. **L. Boutan,** *Les perles fines, leur origine réelle. Arch. Zool. exp. gén. 4 sér. t. 2. 1904.* — **S. Carl,** *Die Flußperlmuschel und ihre Perlen. Karlsruhe 1910.* — **R. Dubois,** *Sur le mécanisme de la formation des perles fines etc. Compt. rend. Acad. Paris, t. 133, 138 und 154, 1901, 1904 und 1912.* — **Derselbe,** *Contributions à l'étude des perles fines de la nacre etc. Ann. Univ. Lyon, t. 29. 1909.* — **F. de Filippi,** *Sull' origine delle perle. Arch. Anat. Phys. 1856.* — **G. Harley und H. S. Harley,** *The chemical composition of pearls. Proc. Roy. Soc. London, Vol. 43. 1888.* — **W. Hein,** *Zur Frage der Perlbildung in unseren Süßwassermuscheln. Allgemeine Fischereizeitung Nr. 8. 1911.* — **W. A. Herdman,** *Report on the pearl oyster fisheries of Ceylon. London 1903 und 1906.* — **Derselbe und Hornell,** *Pearl production. Ebenda 1906.* — **Th. v. Hessling,** *Die Perlmuscheln und ihre Perlen. Leipzig 1859.* — **H. L. Jameson,** *On the origin of pearls. Proc. Zool. Soc. London 1902.* — **F. Küchenmeister,** *Ueber eine der häufigsten Ursachen der Elsterperlen. Arch. Anat. Physiol. 1856.* — **G. F. Kunz and C. H. Stevenson,** *The book of the pearl. London 1908.* — **Mc Intosh,** *The story of the pearl. The Zoologist, 4. ser. Vol. VIII. 1904.* — **J. Meisenheimer,** *Die neueren Untersuchungen über die Entstehung der Perlen. Naturwissensch. Wochenschrift. 20. Bd. 1905.* — **K. Möbius,** *Die echten Perlen. Programm der Realschule. Hamburg 1857.* — **L. G. Seurat,** *L'huître perlière, nacre et perles. Encycl. Scient. des Aide-Mémoire. Paris 1900.*

E. Korschelt.

Permformation.

1. Namengebung und Abgrenzung des Perms: Permocarbon, Permotrias. 2. Faziesbildungen: a) Kontinental- oder Binnenfazies. b) Pelagische Fazies. c) Glazialfazies. 3. Paläontologischer Charakter. 4. Verbreitung und Gliederung: a) Die Binnenfazies in Europa. b) Die pelagische Fazies in Europa, Asien und Nordamerika. c) Die Glazialfazies in Indien, Südafrika und Australien. 5. Technisch wichtige Bestandteile.

1. Namengebung und Abgrenzung des Perms: Permocarbon, Permotrias. Die Permformation entspricht dem letzten Hauptabschnitt des paläozoischen Zeitalters und hat daher ihre stratigraphische Stellung über dem Carbon und unter der Trias.

Die Kenntnis der permischen Schichtenfolge, der ersten wissenschaftlich untersuchten überhaupt, ist von Mitteldeutschland ausgegangen, wo im Mansfeldschen der permische Kupferschiefer Gegenstand eines 700 Jahre alten Bergbaues ist und wo die Namen „Rotliegendes" (ursprünglich: rotes totes Liegendes) und „Zechstein" (wahrscheinlich: zacher, d. h. zäher Stein) für die beiden Hauptabteilungen des deutschen Perms entstanden sind.

Der jetzt allgemein angenommene Name „Perm" wurde im Jahre 1841 von Murchison eingeführt; er bezeichnete damit ursprünglich eine in dem russischen Gouvernement Perm weitverbreitete Folge roter sandiger Mergel, die in Wirklichkeit den Uebergang zur Trias bilden.

Später schlug Marcou die Bezeichnung „Dyas" vor, für deren Aufnahme besonders Geinitz eintrat. Dieser Name ist zwar stratigraphisch richtig, nimmt aber allein Bezug auf die nur lokale Binnenentwicklung der Formation in Deutschland mit ihrer scharfen Zweiteilung in Rotliegendes und Zechstein, aber nicht auf die Verhältnisse der weltweit verbreiteten pelagischen Ausbildung, welche eine einzige, mehr oder weniger einheitliche Schichtenfolge darstellt.

Das Perm folgt vielfach völlig gleichförmig über dem Obercarbon, und dann sind beide Formationen meist so innig verbunden, daß eine scharfe Abgrenzung auf Schwierigkeiten stößt. Solche Uebergangsschichten, in denen weder ein Gesteinswechsel noch eine rasche Aenderung der Fauna und Flora auf eine natürliche, leicht zu findende Grenze hinweisen und die daher in ihrer stratigraphischen Stellung zweifelhaft waren, sind als „Permocarbon" bezeichnet worden, ein Name, den zuerst Meek für einen jetzt zum Obercarbon gezogenen Horizont in Nebraska einführte. Die Unterscheidung eines Permocarbon haben nur noch die russischen Geologen beibehalten. Betrachtet man wie sie die Arta- und Kungur-Stufe, d. h. die marine Vertretung des unteren Perms in Rußland als Permocarbon, so bleibt vom marinen Perm fast nichts mehr übrig. Die Bezeichnung Permocarbon ist daher entbehrlich.

In ähnlicher Weise leitet mehrfach auch eine ununterbrochene gleichförmige Schichtenfolge so unmerklich vom Perm zur Trias hinüber, daß man im Zweifel sein kann, wo das Perm aufhört und die Trias anfängt. Solche „permotriadischen" Uebergangsschichten sind u. a. in Rußland die bereits erwähnten roten „tatarischen Mergel" des Gouvernements Perm, ferner das mächtige System der Gondwana-Schichten der vorderindischen Halbinsel.

2. Faziesbildungen. In der Permformation lassen sich verschiedene, zum Teil eigenartig entwickelte Fazies unterscheiden.

Digitized by Google

2a) Kontinental- oder Binnenfazies. Die Kontinental- oder Binnenfazies in Deutschland, England (und Frankreich) zerfällt in zwei petrographisch und paläontologisch scharf geschiedene Abteilungen. Die untere terrestrische Gruppe, das Rotliegende, besteht aus mächtigen Breccien, Konglomeraten, Sandsteinen und Schiefertonen, untergeordnet auch aus Steinkohlenflözen, also aus fluviatilen und limnischen Ablagerungen, die als der in flachen kontinentalen Wannen abgelagerte, wenig verfrachtete Verwitterungschutt der im Carbon entstandenen Faltengebirge aufzufassen sind. Neben dunklen grauen Farben ist für die meisten dieser Bildungen eine lebhafte, von Eisenoxyd herrührende Rotfärbung bezeichnend, die von manchen Geologen als Hinweis auf eine tropische Verwitterung (Lateritisierung) betrachtet wird. Eher dürften Verhältnisse, wie sie in den Wüstengebieten Hochasiens herrschen, zum Vergleich heranzuziehen sein. Auf ein kontinentales Klima weist u. a. das Vorkommen von Kantengeschieben mit prächtigem Windschliff (Mansfeld) und Insolationssprüngen hin. Diesen Absätzen sind überall ausgedehnte Decken vulkanischer Gesteine mit ihren Tuffen eingeschaltet. Die obere Gruppe, der Zechstein, besteht aus den Sedimenten eines seichten, bald verdampfenden Meeres, also aus Kalken, Mergeln, Bryozoenriffkalken oder -dolomiten, die eine verarmte Fauna einschließen, und aus chemischen Gesteinen, namentlich Anhydrit und Steinsalz. Charakteristisch für den deutschen Zechstein sind zwei in der Erdgeschichte einzig dastehende Faziesbildungen, der Kupferschiefer und die Kalisalze.

2b) Pelagische Fazies. Die pelagische Ausbildung des Perms stellt die normale weltweit verbreitete Fazies dar; marines Perm findet sich in den Ostalpen, in Rußland, Spitzbergen und Nordamerika in engem Anschluß an das marine Obercarbon, ferner in Sizilien, Armenien, Vorderindien usf. Grobklastische Gesteine treten zurück, während marine Kalke und Mergel weiteste Verbreitung besitzen; sie schließen eine formenreiche Fauna ein, die sich ganz allmählich aus der obercarbonischen entwickelt und ebenso allmählich zur Fauna der marinen Trias hinüberleitet.

Unter den Faziesbildungen des marinen Perms können als Ablagerungen des tieferen Meeres nur die altpermischen, zahllose Nadeln von Kieselschwämmen enthaltenden Kieselschiefer Spitzbergens angesprochen werden. Die Ablagerungen der Flachsee oder des Meeres mittlerer Tiefe sind Brachiopodenkalke und -mergel, Zweischalerkalke, Fusulinenkalke, typische Cephalopodenkalke (Sizilien) und cephalopodenreichere Kalke. In Indien treten auch geschichtete Korallenkalke auf, während echte Korallenriffkalke und mit ihnen verknüpfte Krinoidenkalke bisher nicht aufgefunden worden sind.

2c) Glazialfazies. Eine sehr eigenartige Entwicklungsform ist die in der Umgebung des Indischen Ozeans, in Vorderindien, Südafrika und Australien verbreitete Glazialfazies des Perms. In diesen Gebieten finden sich als unzweifelhafte Anzeichen einer permischen Eiszeit weitverbreitete Blocklehme, welche die Grundmoränen ehemaliger Inlandeismassen darstellen. Im Anschluß an diese Vereisung treten mächtige, aus Sandsteinen und Schiefertonen bestehende kohlenführende Schichtensysteme auf, die in gleichförmiger Ausbildung das Perm, die Trias und zum Teil noch den Jura umfassen (Gondwana-Schichten Indiens und Karruformation Südafrikas) und durch eine Flora charakterisiert sind, die nach einem leitenden Farn als „Glossopterisflora" bezeichnet wird.

3. **Paläontologischer Charakter.** Obwohl die permische Lebewelt durch sehr innige Beziehungen mit der carbonischen verknüpft ist, erhält sie doch durch das Auftreten zahlreicher neuer Formen eine durchaus selbständige Stellung. Das Perm ist paläontologisch gekennzeichnet durch das Auftreten der ältesten Reptilien, die mächtige Entwicklung der Stegocephalen unter den Amphibien, das Auftreten von Cephalopoden mit ceratitischen und ammonitischen Lobenlinien und die Entwicklung einer neuen Flora von mesozoischem Gepräge.

Die permischen Reptilien, ausschließlich Land- oder Süßwasserbewohner, sind vertreten durch die Rhynchocephalen und Theromorphen. Zu den eidechsenähnlichen Rhynchocephalen, von denen heute nur noch die Gattung Hatteria in Neuseeland lebt, gehören Palaeohatteria und Kadaliosaurus aus dem sächsischen Rotliegenden, sowie Proterosaurus aus dem Kupferschiefer. Unter den noch Anklänge an labyrinthodonte Amphibien aufweisenden Theromorphen erinnern die Anomodontien, z. B. Oudenodon aus dem mittleren Perm von Rußland, durch ihre zurückgebildete Bezahnung und plumpen Extremitäten an Schildkröten; die Theriodontien besaßen bereits ein in Schneide-, Eck- und Backzähne differenziertes Gebiß wie die Säugetiere, mit denen sie auch sonst anatomisch mehrfach übereinstimmen; hierher gehören Naosaurus in Böhmen und Texas, Rhopalodon in Rußland, Pareiasaurus im Kupferschiefer und ähnliche Formen aus Nordamerika.

Neben den Reptilien sind die Amphibien durch die Stegocephalen oder Labyrinthodonten in vielen, zum Teil riesigen Formen weit verbreitet, salamander-, eidechsen- oder schlangenähnlich aussehende Tiere, die in der Jugend eine Metamorphose durchmachten, und deren Körper wie bei den Reptilien mit einem Schuppenpanzer bewehrt war; an die Reptilien erinnern auch die kegelförmigen Zähne. Die Stegocephalen bilden

Digitized by Google

so einerseits einen Kollektivtypus, andererseits durch die unvollkommene Verknöcherung der Wirbelsäule einen Embryonaltypus. Wichtig sind Archegosaurus aus dem Rotliegenden von Sachsen und des Saargebietes, der in Mitteleuropa

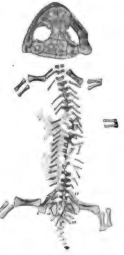


Fig. 1. Branchiosaurus amblystoma Cred. Unterrotliegendes, Sachsen.

weit verbreitete Branchiosaurus mit vollständig bekannter Metamorphose, Sclerocephalus, Pelosaurus, Melanerpeton und andere Gattungen in Rußland, Afrika, Texas, Kansas (Eryops, Cricotus) und Brasilien.

Die Fischfauna des Perms schließt sich eng an die des Carbons an, da aus beiden Formationen vorwiegend Fische von Binnenseen bekannt sind. Zu den Selachiern gehören Janassa und Menaspis

Fig. 2. Palaeoniscus Freieslebeni Agass. Kupferschiefer von Mansfeld. (1/4 n. Gr.)

aus dem Kupferschiefer und die für das untere Rotliegende leitenden Acanthodes und Xenacanthus. Viel häufiger sind heterocerkale Ganoiden; neben Amblypterus und Elonichthys im Rotliegenden finden sich hauptsächlich im Kupferschiefer Palaeoniscus und der schollenähnliche Platysomus, seltener Acrolepis, Amblypterus und Pygopterus.

Die im Perm aussterbenden Trilobiten sind im wesentlichen auf die beiden Gattungen Phillipsia und Griffithides beschränkt.

Von großer Bedeutung ist die Entfaltung der Ammoniten im Perm, indem neben Formen mit noch einfachen goniatitischen Loben jetzt

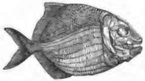


Fig. 3. Platysomus striatus Agass. Kupferschiefer von Mansfeld. (1/4 n. Gr.)

zum ersten Male zahlreiche Ammoneen mit ceratitischen oder noch stärker zerschlitzten Lobenlinien erscheinen (Sosiokalk, Arta-Schichten, Produktuskalk und Djulfa-Schichten). Devonisch-carbonischen Ursprungs sind die beiden im Perm aussterbenden Gruppen der Gephyroceratiden, vertreten durch Thalassoceras, und der

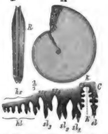


Fig. 4. Medlicottia Trautscholdi Gemellaro. Unteres Perm, Sosio in Sizilien.

Glyphioceratiden, vertreten durch Gastrioceras und Agathiceras. Bezeichnende Permformen sind die sich von den Gephyroceratiden ableitenden Arcestiden mit den Gattungen Popanoceras

Fig. 5. Xenodiscus carbonarius Waag. Produktuskalk, Salzkette, Indien.

Digitized by Google

und Cyclolobus und die Medlicottiiden mit der carbonischen Stammform Pronorites und den spezifisch permischen Medlicottia und Prosageceras. Vorläufer der triadischen Ceratitiden sind die wichtigen permischen Gattungen Xenodiscus, Otoceras und Hungarites.

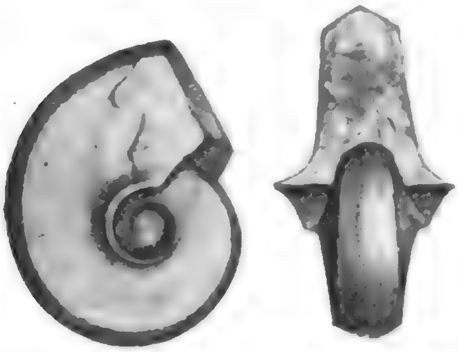


Fig. 6. Otoceras trochoides Abich. Djulfa-Kalk, Araxes Kanjon, Armenien.

Die Gastropoden treten ziemlich zahlreich auf; wichtiger ist jedoch nur die im alpinen Bellerophonkalk und im Produktuskalk häufige Gattung Bellerophon.

Die Zweischaler nehmen seit dem Perm allmählich die Stelle der bis dahin vorherrschenden Brachiopoden ein; neu und besonders im oberen

Fig. 7. Pseudomonotis speluncaria v. Schloth. Zechsteinkalk.

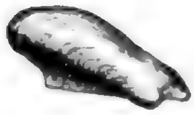


Fig. 8. Bakewellia ceratophaga v. Schloth. Zechsteinkalk, Thüringen.

Perm häufig sind Schizodus, Pseudomonotis, Bakewellia, Astarte, Arca, Pleurophorus und Unioniden mit pseudotaxodonter Bezahnung (Palaeomutela an der oberen Grenze des Perms in Rußland).

Die Brachiopodenfauna des Perms ist die nur wenig veränderte Fortsetzung der obercarbonischen; obgleich noch verschiedene Gattungen neu erscheinen, treten die Brachiopoden gegen Ende des Perms allmählich zurück. Wichtig sind besonders die Produktiden mit Productus, Strophalosia, Aulosteges und Marginifera; ferner die Gattungen Camarophoria, Streptorhynchus,

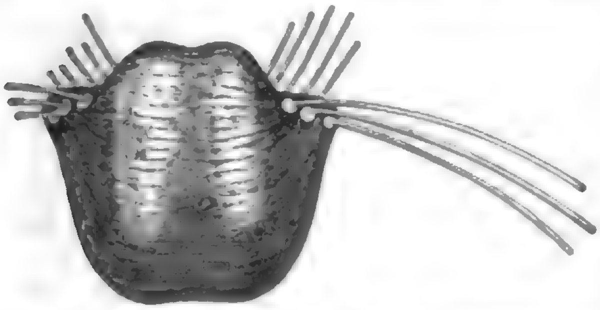


Fig. 9. Productus horridus Sow. Zechsteinkalk.

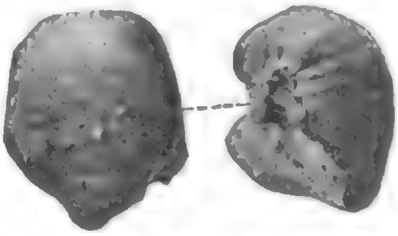


Fig. 10. Productus Cancrini Vern. Unteres Perm, Rußland.

Fig. 11. Camarophoria Schlotheimi v. Buch. Zechsteinkalk.

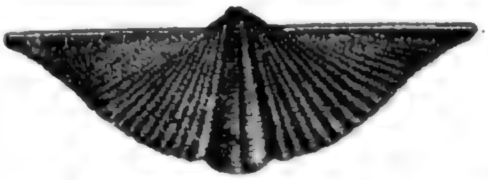


Fig. 12. Spirifer alatus Schloth. (= undulatus Sow.) Zechsteinkalk.

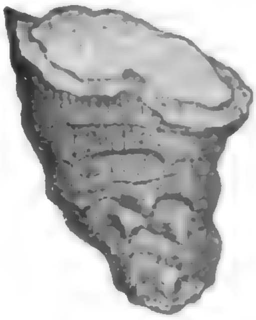


Fig. 13. Richthofenia Lawrenciana de Kon. Produktuskalk, Salzkette, Indien.

Spirifer und Terebratula. Ihre Hauptentwickelung erreichen im Perm die neu auftretenden, zum Teil festwachsenden, unregelmäßig gestalteten Formen Oldhamina, Tegulifera, Richthofenia und Lyttonia.

Eine üppige Entwickelung zeigen die im unteren Zechstein auch riffbildend auftretenden Bryozoen mit den Gattungen Fenestella, Phyllopora, Polypora und Synocladia.

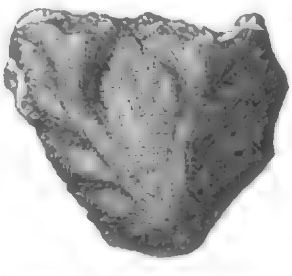


Fig. 14. Fenestella retiformis v. Schloth. Unterer Zechstein.

Geringere Bedeutung haben die Echinodermen und Korallen; obwohl riffbildende Korallen im Produktuskalk häufig sind, fehlen Korallenriffe im Perm vollständig. Von der alt-

Digitized by Google

paläozoischen reichen Korallenfauna leben nur noch Zaphrentis, Amplexus, Lonsdaleia; neu sind im Zechstein Polycoelia und Stenopora.

Von den Foraminiferen finden sich im unteren Perm mehrfach noch carbonische Fusulinen.

Die permische Flora tritt in zwei getrennten Verbreitungsgebieten auf. Während die Flora der Nordkontinente sich ungestört aus der carbonischen entwickelt, bildet sich im Süden auf dem indo-afrikanisch-australischen Kontinent unter dem Einfluß der permischen Eiszeit die neue Glossopterisflora, deren Formen sich dann über die ganze Erde verbreiten.

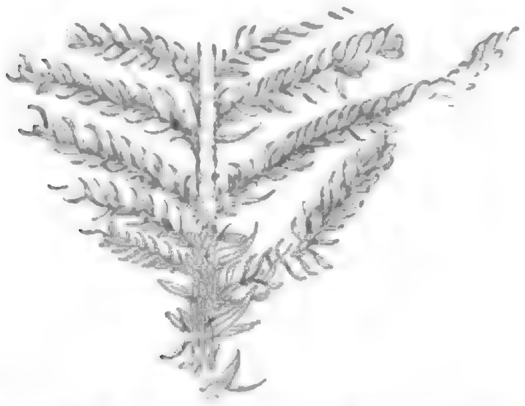


Fig. 15. Walchia piniformis Sternb. Unteres Rotliegendes.

Im Perm finden sich die ältesten Koniferen; araukarienähnlich waren Walchia und Ullmannia, während Baiera zu Gingko, Voltzia zu den Taxodieen gestellt werden. Die Zykadeen waren vertreten durch Medullosa, Pterophyllum und Zamites. Von den Kalamarien lebt im Perm noch Calamites, neu sind Equisetum und Schizoneura; von den Lepidophyten lebt noch Sigillaria.

Die Hauptrolle spielen auch im Perm noch die Farne; neben Sphenopteris und Pecopteris sind für das Perm bezeichnend Neuropteris, Callipteris und Taeniopteris.

Fig. 16. Callipteris conferta Sternb. Unteres Rotliegendes, Saargebiet.

Die wichtigsten Vertreter der Glossopterisflora sind einige Farne, Glossopteris, Gangamopteris und Taeniopteris, mit denen die schachtelhalmartigen Schizoneura und die Konifere Voltzia vergesellschaftet sind.

4. Verbreitung und Gliederung.

a) Die Binnenfazies in Europa. Maßgebend für die Gliederung der Binnenfazies des Perms in Mittel- und Westeuropa ist die deutsche Entwickelung mit ihrer scharfen Sonderung in Rotliegendes und Zechstein.

Das Rotliegende ist eine im einzelnen sehr mannigfaltig aus Konglomeraten, Sandsteinen und Schieferletten zusammengesetzte Schichtenfolge; untergeordnet sind Kohlenflöze eingelagert, die nur selten (in Sachsen und Böhmen) den Abbau lohnen; eine große Rolle spielen dagegen Eruptivgesteine (Porphyre, Melaphyre und Porphyrite) mit ihren Tuffen. Zuweilen schließt sich das Rotliegende gleichförmig an das Obercarbon an (Saar-Nahe-Gebiet); häufig überlagert es jedoch ältere Gesteine in übergreifender Lagerung. Ueberall ist es in einzelnen kontinentalen Becken zur Ablagerung gekommen, die es ausfüllt; vielfach fehlt es gänzlich, während es andererseits stellenweise beträchtliche, 1000 m weit übersteigende Mächtigkeiten erreicht. Seiner Entstehungsweise entsprechend ist auch seine Ausbildung in den einzelnen Verbreitungsgebieten verschieden.

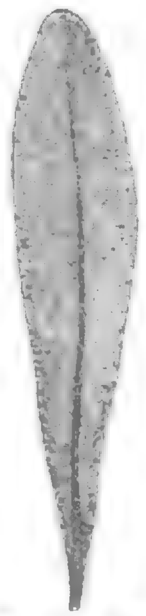


Fig. 17. Glossopteris Browniana Browgn. Perm, Neu-Süd-Wales.

Das Rotliegende wird in zwei Unterabteilungen gegliedert; beide werden durch eine Diskordanz getrennt, die durch interrotliegende Krustenbewegungen von nicht unbedeutendem Ausmaß bedingt wird. Das allein kohlenführende Unterrotliegende enthält ein reicheres organisches Leben und die Spuren vulkanischer Tätigkeit, während sich das meist übergreifend gelagerte Oberrotliegende ausschließlich aus roten, fast immer fossilleeren Trümmergesteinen aufbaut.

Die wichtigsten Verbreitungsgebiete des Rotliegenden in Deutschland sind das Saar-Nahe-Gebiet, Thüringer Wald, Südharz, östliches Harzvorland, Sachsen, Böhmen und Niederschlesien; eine geringere Bedeutung besitzt es in Süddeutschland im Schwarzwald und in den Vogesen.

Als typisches Beispiel für die Gliederung des Rotliegenden sei hier das Profil des Saar-Nahe-Gebietes angeführt:

Oberrotliegendes:

Kreuznacher Schichten: rote feinkörnige Sandsteine und Schieferletten.

Digitized by Google

Waderner Schichten: Porphyr- und Melaphyrkonglomerate.

Unterrotliegendes:

Söterner Schichten: Porphyrbreccien und -tuffe, Sandsteine, Porphyrit- und Melaphyrdecken.

Tholeyer Schichten: hellrötliche Arkosen, Konglomerate und Schieferletten.

Lebacher Schichten: Sandsteine und dunkle Schiefertone mit schwachen Kohlenflözen und Toneisensteinnieren mit Archegosaurus Decheni, Acanthodes gracilis, Amblypterus, Xenacanthus, Walchia piniformis und Callipteris conferta.

Kuseler Schichten: rote und graue Arkosen, graue Schiefertone und Kohlenflöze, mit Walchia piniformis, Callipteris conferta, Pecopteris arborescens, Calamites gigas u. a.

An der Zusammensetzung des Zechsteins beteiligen sich Kalke und Dolomite mit einer verarmten, durch Artenarmut und Individuenreichtum ausgezeichneten Fauna, Tone und mächtige Lager von Anhydrit und Steinsalz mit Kalisalzen. Der Zechstein kennzeichnet sich hierdurch als Ablagerung eines flachen Binnenmeeres, welches von Nordosten aus Rußland kommend nach Deutschland und England vordrang, aber sehr bald unter dem Einflusse eines trockenen Wüstenklimas verdampfte, wobei sich die Salzlager des oberen Zechsteins bildeten.

Die Verbreitung des Zechsteins ist unabhängig von derjenigen des Rotliegenden, da er übergreifend gelagert ist und vielfach über die Verbreitungsgebiete des Rotliegenden hinübergreift. Der Zechstein verbreitet sich so über ganz Mittel- und Norddeutschland; das südlichste Vorkommen liegt bei Heidelberg, und im Westen überschreitet er bei Düsseldorf den Rhein und verbreitet sich bis nach Holland hinein.

Der Zechstein wird in Mitteldeutschland (nördliches Thüringen, Harzrand, Staßfurt) folgendermaßen gegliedert:

Oberer und mittlerer Zechstein:
- Rote Letten
- Jüngeres Steinsalz
- Hauptanhydrit
- Grauer Salzton
- Kalisalzregion
- Aelteres Steinsalz
- Aelterer Anhydrit
- Dolomite, Stinkschiefer, Rauchwacken mit Anhydrit.

Unterer Zechstein:
- Zechsteinkalk oder Bryozoenriffe
- Kupferschiefer
- Mutterflöz (nur in Ostthüringen)
- Zechsteinkonglomerat oder Weißliegendes.

Das geringmächtige (1—2 m) Zechsteinkonglomerat ist das Basalkonglomerat des das rotliegende Festland überflutenden Zechsteinmeeres. Bei Gera schließt dieses Glied eine kleine Fauna ein: Productus Cancrini, Strophalosia Leplayi, Rhynchonella Geinitziana, Pecten sericeus, Pseudomonotis speluncaria, Bakewellia ceratophaga, meist Formen, welche für das russische Perm bezeichnend sind und teilweise in höheren Schichten des deutschen Zechsteins nicht wieder vorkommen. Das besonders im Mansfeldschen verbreitete feinsandige Weißliegende ist eine Dünenfazies des untersten Zechsteins.

Der Kupferschiefer ist ein 0,6 bis 1 m mächtiger schwarzer bituminöser Mergelschiefer, der sich trotz seiner geringen Mächtigkeit mit überraschender Gleichförmigkeit über ein großes Gebiet im mittleren Deutschland und bis nach England hinein verbreitet und durch seine Erzführung, seinen Bitumengehalt und seine eigenartige reiche, fast ausschließlich aus Fischen bestehende Fauna eine der merkwürdigsten Bildungen der Erdgeschichte ist. Bezeichnende und häufige Formen des Kupferschiefers sind Palaeoniscus Freieslebeni, Platysomus gibbosus, Pygopterus Humboldti, Acrolepis und Amblypterus; neben Resten von Proterosaurus finden sich nicht selten Pflanzen, und zwar Reste von Ullmannia Bronni, Voltzia Liebeana und Taeniopteris.

Der 6 bis 10 m mächtige Zechsteinkalk besteht aus grauen, dichten, wohlgeschichteten Kalken; in Thüringen, am südlichen Harzrande und in Westfalen wird er stellenweise von massigen bis 40 m hohen kalkigen oder dolomitischen Bryozoenriffen vertreten. Beide Fazies enthalten den größten Teil der durch Artenarmut und Individuenreichtum ausgezeichneten Zechsteinfauna: Productus horridus, der im Zechsteinkonglomerat und in Rußland fehlt, Spirifer alatus, Camarophoria Schlotheimi, Dielasma elongata, Streptorhynchus pelargonatus, Strophalosia Goldfussi, Pseudomonotis speluncaria, Bakewellia ceratophaga, Schizodus obscurus, Pleurophorus costatus, Fenestella retiformis.

Der mittlere und obere Zechstein bestehen aus Dolomiten, Stinkschiefern, Anhydrit, Steinsalz und Kali-Magnesiasalzen, oder, wenn die der Auslaugung leicht anheimfallenden Salzlager in der Nähe des Ausgehenden des Zechsteins fehlen, aus Gips und den Rückständen der Auslaugung: Aschen und Rauchwacken (Zellendolomiten).

Eine Sonderentwickelung besitzt der obere Zechstein in Thüringen und Hessen, wo er sich in untere Letten, Plattendolomit mit Schizodus obscurus, Liebea Hausmanni usw., und obere Letten gliedert; dem Plattendolomit altersgleich ist vielleicht der graue Salzton, wofür u. a. das Vorkommen mariner Zweischaler (Gervillia, Schizodus, Pleurophorus) spricht.

In Frankreich ist das Perm unvollständig entwickelt; während der Zechstein fehlt, besitzen die rotliegenden Bildungen Frankreichs in ihrer Ausbildung und Gliederung große Aehnlichkeit mit denen Deutschlands. Sie erfüllen ebenfalls eine Reihe einzelner Becken, und die untere kohlenführende Abteilung schließt die Fauna und Flora der Kuseler und Lebacher Schichten ein. Die wichtigsten Becken sind die Becken von Brive im W., von Commentry im N., von Autun im NO. und von Lodève im S. des französischen Zentralplateaus. Die in diesen Becken auftretenden Steinkohlenflöze sind vielfach abbauwürdig.

Digitized by Google

Die Permformation Englands zeigt eine weitgehende Uebereinstimmung mit dem deutschen Perm. Das als Lower New Red (Sandstone) bezeichnete Rotliegende Westenglands besteht aus roten Konglomeraten und Sandsteinen mit eingeschalteten Ergußgesteinen. Zechstein findet sich namentlich im nordöstlichen England; bei Durham entspricht der Palaeoniscus und Platysomus führende, jedoch erzfreie Marlslate dem Kupferschiefer, der Magnesian limestone mit Productus usw. dem Zechsteinkalk; der obere Zechstein ist durch rote, zum Teil sandige Mergel mit Gips und Steinsalz vertreten.

b) Die pelagische Fazies in Europa, Asien und Nordamerika. Das Hauptverbreitungsgebiet des marinen Perms in Europa ist das östliche Rußland, wo permische Ablagerungen vom Westabhang des Ural, von der Kirgisensteppe und vom Donez bis zum Eismeer ein mehrere hunderttausend qkm großes Gebiet einnehmen. Das Perm folgt hier überall gleichförmig über dem Obercarbon und geht nach oben gleichförmig in rote und bunte Mergel von vielleicht schon triadischem Alter über.

Das russische Perm wird folgendermaßen gegliedert:

Oberes Perm:

- Tatarische Stufe: rote und bunte, gips- und salzführende Mergel, die zum Teil bereits der Trias angehören, mit Süßwassermuscheln: Najadites, Palaeanodonta, Palaeomutela, ferner mit Estheria minuta, Theromorphen, Voltzia, Equisetum und selten Glossopteris.
- Russischer Zechsteinkalk: Kalke von Soligalitsch bei Kostroma; an der Wolga und Kama helle Conchiferenkalke, darunter Brachiopodenkalke; am Ural graue und rote Mergel. Aus der reichen Fauna seien erwähnt: Productus Cancrini, Strophalosia horrescens, Spiriferina cristata, Spirifer rugulatus, Dielasma elongatum, Pseudomonotis speluncaria, Bakewellia ceratophaga, Schizodus obscurus und rossicus, Modiolopsis Pallasi, Fenestella retiformis.
- Kupfersandstein am Westabhang des Ural: rote kupferhaltige Sandsteine und Konglomerate mit Ullmannia, Baiera, Calamites gigas, Callipteris conferta, Theriodonten und Stegocephalen.
- Untere bunte Mergel: mit Najadites und Palaeomutela.

Unteres Perm (Permocarbon der russischen Geologen).

- Kungurstufe: Kalke und Dolomite in buntem Wechsel mit Gipsen und Anhydriten; neben den permischen Formen Pecten pusillus, Lima permiana, Bakewellia antiqua, Schizodus obscurus, Pleurophorus costatus und anderen finden sich noch die obercarbonischen Productus semireticulatus, cora u. a.
- Artastufe: am Ural Sandsteine, an der Wolga zum Teil kieselführende Dolomite mit carbonisch-permischer Mischfauna; obercarbonisch sind Fusulina Verneuili, Productus semireticulatus, Spirifer supramosquensis; dagegen permisch Productus artiensis und cancriniformis, Schizodus Wheeleri, Pseudomonotis Kazanensis, und die Ammoniten Medlicottia, Popanoceras, Thallassoceras, Pronorites.

Von Rußland aus verbreitet sich das marine Perm bis nach Spitzbergen, wo namentlich die Artastufe durch bis 400 m mächtigen Kieselschiefer mit Productus cancriniformis, Spirifer Keilhavi und rugulatus vertreten ist.

In Südeuropa findet sich marines Perm in den Ostalpen; in den karnischen Alpen schließen die Trogkofelkalke eine reiche Brachiopodenfauna ein. Diskordant folgen darüber rote dem Rotliegenden entsprechende Konglomerate (Verrucano) und Sandsteine (Grödener Sandstein), und an der Grenze gegen die Trias der Bellerophonkalk mit zahlreichen Bellerophonarten.

Altpermisch sind die cephalopodenreichen Kalke am Flusse Sosio in Sizilien, mit Medlicottia, Thallassoceras, Popanoceras, Gastrioceras und Cyclolobus.

Eine reiche aus Brachiopoden und Ammoniten bestehende Fauna enthalten die Djulfaschichten Armeniens, welche ungefähr dem deutschen Zechstein altersgleich sind.

Die wichtigste marine Schichtenfolge des Perms, sowohl was die Reichhaltigkeit der darin eingeschlossenen Marinfauna anbetrifft, als auch wegen der Beziehungen derselben zur Trias ist der Produktuskalk der Salzkette Vorderindiens, welcher jetzt wie folgt gegliedert wird (nach Koken):

- Oberer Produktuskalk von Virgal: mit zahlreichen Chonetes, Productus Purdoni, Pseudomonotis gigantea und Kazanensis, Euphemus indicus, Bellerophon impressus, Popanoceras, Medlicottia u. a.
- Zone des Xenodiscus carbonarius mit zahlreichen Dielasma, Notothyris, Enteles, Rhynchonella, Camarophoria, Productus indicus Oldhamina decipiens u. a.
- Krinoidenkalk des mittleren Produktuskalks: mit Martinia gigantea, Reticularia indica, Richthofenia Lawrenciana, Lyttonia nobilis.
- Unterer Produktuskalk: mit Spirifer alatus, Reticularia lineata, Streptorhynchus pelargonatus, Productus spiralis, Orthis Pecosi u. a.

Ueber die stratigraphische Stellung des Produktuskalkes gehen die Ansichten noch auseinander; während manche Geologen den unteren Teil noch dem Obercarbon gleichstellen, treten andere, anscheinend mit größerer Berechtigung, für ein ausschließlich permisches Alter des Produktuskalkes und der in seinem Liegenden auftretenden glazialen Pendschabstufe ein.

Ablagerungen von marin entwickeltem

Digitized by Google

Perm sind außer in Indien noch im Himalaya, in Tibet, China und auf Timor aufgefunden worden.

In Nordamerika findet sich marines kalkig ausgebildetes Perm meist in enger Verbindung mit dem Obercarbon, so im S. und W. der Vereinigten Staaten (Barren measures), in Kansas, Nebraska (Wichita beds, Marion Series usw.) und Texas (Guadelupian) mit stellenweise reichen Marinfaunen. In Arizona, Neu-Mexiko, Utah und Colorado (Painted desert) besteht es dagegen aus roten gips- und salzführenden Mergeln und Schiefertonen mit interessanten Wirbeltierfaunen, die sich aus Fischen, Stegocephalen und Theromorphen zusammensetzen.

4c) Die Glazialfazies in Indien, Südafrika und Australien. Bildungen glazialen Ursprungs finden sich bereits in der indischen Salzkette, wo sie den Produktuskalk unterlagern und als Pendschabstufe bezeichnet werden. Diese merkwürdige Schichtenfolge beginnt mit einem bis 40 m mächtigen Blocklehm mit zahlreichen abgeschliffenen und gekritzten Geschieben. Der darüber folgende, z. T. geröllführende Olive sandstone enthält eine marine Conularienfauna und stellt eine am Rande des Inlandeises entstandene Driftbildung dar. Fluvioglazialer Entstehung sind der Speckled sandstone und die einen bunten Bänderton darstellenden Lavender Series.

Eine viel größere Mächtigkeit und Verbreitung besitzen bis 600 m mächtige als Talchirkonglomerate bezeichnete glaziale Blocklehme im Innern der vorderindischen Halbinsel. Ueber den Talchirs lagert ein mächtiges tonig-sandiges, kohlenführendes Schichtensystem, die durch das Auftreten von Glossopteris- und Gangamopteris gekennzeichneten Gondwana-Schichten, deren unterer Teil eine kontinentale Vertretung des Produktuskalkes bildet, während die mittleren und oberen Teile schon der Trias und dem Jura entsprechen.

Eine ähnliche Ausbildung zeigt in Südafrika die aus terrestrischen Sandsteinen, Schiefern und Kohlenflözen bestehende und in ihrem unteren Teil dem Perm angehörende Karruformation. Sie beginnt mit dem Dwyka-Konglomerat, einem verhärteten, stellenweise über 350 m mächtigen Geschiebelehm, dessen Untergrund vielfach zu Rundhöckern abgeschliffen und mit Gletscherschrammen bedeckt ist. Den unteren Gondwana-Schichten Indiens entsprechen die Steinkohlen einschließenden Ekka-Schiefer mit Glossopteris, Gangamopteris und Theromorphen.

Auch in Australien treten ähnliche Ablagerungen permischen Alters auf; hier stellen die in Viktoria verbreiteten Bacchus Marsh-Schichten über 400 m mächtige Blocklehme dar, über denen kohlenführende Sandsteine mit der Glossopterisflora folgen. Dagegen finden sich in Neu-Süd-Wales zwei, marine Fossilien sowie geschrammte Geschiebe enthaltende Driftbildungen, die von terrestrischen, Steinkohlen und die Glossopterisflora enthaltenden Schichten überlagert werden.

5. **Technisch wichtige Bestandteile.** Von den technisch nutzbaren Lagerstätten des Perms haben die Steinkohlen des Unterrotliegenden nur eine geringe Bedeutung. In Deutschland werden rotliegende Kohlen nur noch in Sachsen abgebaut (Plauenscher Grund bei Dresden, aber nicht mehr im Thüringer Wald (Stockheim und Manebach bei Ilmenau) wegen zu geringer Mächtigkeit und Verbreitung der Flöze. Dagegen enthält das Unterrotliegende in Frankreich zahlreiche mächtige und daher abbauwürdige Steinkohlenlager. Bei Commentry erreicht ein Kohlenflöz, die „Grande Couche", durch die Vereinigung mehrerer Einzelflöze sogar die beispiellose Mächtigkeit von 25 m.

Der Zechstein ist wirtschaftlich hochbedeutsam durch die Erzführung des Kupferschiefers im Mansfeldschen und durch den außerordentlichen Reichtum an mächtigen Steinsalz- und Kalisalzlagern.

Der Erzgehalt des Kupferschiefers tritt als sogenannte „Speise" auf, d. h. in sehr feinen Stäubchen eingesprengt, die auf dem Querbruch im Sonnenlicht einen metallischen Schimmer verursachen, dessen Farbe durch das vorherrschende Erz bedingt wird. So deutet eine goldgelbe Farbe auf vorherrschenden Kupferkies, eine violblaue und kupferrote, bunte Farbe auf Buntkupfer; seltener ist der Schimmer stahlgrau von Kupferglanz, graugelb von Eisenkies oder bleigrau von Bleiglanz. Die Speise besteht in erster Linie aus geschwefelten Kupfererzen, mit denen stets, jedoch untergeordnet, Zinkblende, Schwefelsilber, Bleiglanz, Eisenkies, Kupfernickel, Speiskobalt usw. vorkommen. Der Gehalt beträgt in der Regel nur 2 bis 3 %, ist jedoch oft an Verwerfungen („Rücken") bis auf 5 % angereichert; die Erze treten dann häufig gangartig oder als Körner (sogenannte „Hieken" oder „Bohnen") eingesprengt auf. Diese sekundären Anreicherungen erhöhen aber die Schmelzwürdigkeit des Schiefers nicht, wenn die Speise zurücktritt; je feiner und dichter die Speise, desto reicher ist sie. Von großer Bedeutung ist im Mansfeldschen ein geringer Silbergehalt (0,03 %) der Erze.

Der Mansfelder Bergmann gliedert das etwa 60 cm mächtige Kupferschieferflöz in eine Anzahl Schichten, die sich durch Gefüge, Erz- und Bi-

Digitized by Google

tumengehalt und infolgedessen durch Festigkeit und Farbe deutlich sondern; es werden von oben nach unten folgende Schichten unterschieden:

Dachklotz	20—26 cm
Schwarze Berge	13—18 cm
Grauer Kopf Schwarzer Kopf	10 cm
Kammschale	3— 4 cm
Grobe Lette	4— 6 cm
Feine Lette	3— 4 cm

In den unteren Lagen (bis zur Kammschale einschl.) ist das Gefüge am dichtesten und sind Bitumen- und Erzgehalt am größten; beide nehmen nach oben allmählich ab, und in gleichem Maße wird der Schiefer heller und gröber. Nur die untersten 12 bis 15 cm mächtigen Lagen sind in der Regel schmelzwürdig.

Die regelmäßige muldenförmige Lagerung des Mansfelder Kupferschieferflözes wird durch zwei nach Form und Entstehung verschiedene Arten von Störungen unterbrochen. Als „Flözberge" bezeichnet man flache kuppelförmige Aufwölbungen des Flözes, die bedingt werden durch Unebenheiten seiner Unterlage, des Weißliegenden, dessen Struktur und Formen noch heute seine Entstehung aus Dünen erkennen lassen. Ueber den Flözbergen pflegt das Flöz weniger mächtig und ärmer zu sein, während der Erzgehalt sich in den zwischen den Flözbergen liegenden Mulden gesammelt hat. Grundsätzlich verschieden sind die postpermischen Störungen tektonischer Natur, meist herzynisch streichende Verwerfungen („Rücken"), die bis 40 m, seltener bis 80 m Sprunghöhe erreichen, sowie schmale Grabenbrüche („Flözgräben"); beide Formen von Störungen werden häufig von Flexuren begleitet, die man früher nicht scharf von den Flözbergen getrennt hat.

Ueber die Herkunft und Entstehung des Erzgehaltes des Kupferschiefers stehen sich zwei Anschauungen schroff gegenüber. Nach dem Vorgange von Pošepny betrachtet Beyschlag den Erzgehalt als epigenetisch und führt ihn auf aufsteigende metallische Lösungen zurück, welche von den Rücken aus den Schiefer imprägniert haben sollen. Größere Wahrscheinlichkeit besitzt jedoch die ältere Annahme der syngenetischen Entstehung von Erz und Schiefer, da die Verteilung der Erze eine schichtige und vollkommen vom Bitumengehalt abhängig ist, während an den Rücken, und zwar nur in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft Wanderungen der Erze stattgefunden haben. Die Herkunft der Erze ist wohl auf die vulkanischen Ausbrüche der rotliegenden Zeit zurückzuführen.

Der Kupferschiefer ist früher vielfach abgebaut worden, so z. B. am südlichen Harzrande, bei Riechelsdorf in Hessen, Möhra und Schweina bei Salzungen, Ilmenau, Saalfeld und an anderen Orten. Heute ist er nur noch im Mansfeldischen Gegenstand eines seit 700 Jahren blühenden Bergbaues auf Kupfer und Silber. Die „Mansfeldsche Kupferschiefer bauende Gewerkschaft" erzeugte 1911 fast 21 000 t Kupfer und 113 000 kg Silber im Werte von 35,7 Mill. Mark und beschäftigte mit der Gewinnung und Verhüttung des Schiefers 21 300 Menschen.

Die Rücken sind häufig innerhalb der Zechsteinformation außer mit Kalkspat und Schwerspat mit Kupfer-, Kobalt- und Nickelerzen erfüllt; ihre Erstreckung und Erzführung lohnen jedoch heute den Abbau nicht mehr. Ihr Gehalt ist in der Regel am reichsten in der Nähe des Kupferschiefers. Zu dieser Gangformation gehören die früher abgebauten Kobaltrücken von Sangerhausen, Riechelsdorf und Bieber in Hessen, Schweina und Kamsdorf bei Saalfeld.

Eine besondere Modifikation der Rücken sind im Zechstein aufsetzende Schwerspatgänge, welche bei Riechelsdorf und Schmalkalden noch abgebaut werden.

Die in der Zechsteinformation auftretenden metasomatischen Eisensteinlagerstätten von Kamsdorf, vom Stahlberg und von der Mommel bei Schmalkalden, von Bieber und Ibbenbüren sind in ihrer Erstreckung ebenfalls an die Rücken gebunden, indem auf diesen Spalten zirkulierende eisenhaltige Wasser die Kalke des Zechsteins in Brauneisen- und Spateisenstein umgewandelt haben.

Dem mittleren und oberen Zechstein gehören die in bezug auf ihre Ausdehnung und Mächtigkeit auf der Erde einzig dastehenden Salzlager Mittel- und Norddeutschlands an, die sich mit durchschnittlich 200 bis 500 m Mächtigkeit — die stellenweise sogar bis 1200 m (Celle und Sperenberg) steigen kann — von der russischen Grenze bis zum Niederrhein und von der Unterelbe bis in die südliche Rhön und bis zur Wetterau erstrecken. Die diesem gewaltigen Steinsalzlager eingeschalteten Kalisalze bilden einen besonders wertvollen Schatz des deutschen Bodens.

Die Zechsteinsalze sind als eine aus eingeengtem und verdampftem Meerwasser entstandene Salzausscheidung anzusehen. Die einfachste und zweifellos ursprünglichste Entwickelung und Ausbildungsform zeigt das Profil des Staßfurter Salzlagers, welches von jeher als Mutterbeispiel eines aus Meerwasser abgeschiedenen Salzlagers betrachtet worden ist.

Das Salzlager von Staßfurt besitzt von oben nach unten folgenden Aufbau:

Rote Tone des obersten Zechsteins	20 — 30 m
Salzfolge IV.	
Anhydrit	0,3 — 3 m
Salzfolge III.	
Steinsalz	50 m
Pegmatitanhydrit	1 — 5 m
Roter Ton	5 — 15 m
Salzfolge II.	
Jüngeres Steinsalz	100 — 150 m
Hauptanhydrit	40 — 90 m
Grauer Salzton	4 — 10 m
Salzfolge I.	
Carnallitregion	30 — 40 m

Digitized by Google

Kieseritregion	20— 40 m
Polyhalitregion	40— 60 m
Aelteres Steinsalz	300—500 m
Aelterer Anhydrit, übergehend in Dolomite, Rauhwacken und Stinkschiefer des mittleren Zechsteins	70—100 m

Eine von diesem normalen Typus abweichende Entwicklung findet sich in der Provinz Hannover; dem jüngeren Steinsalz sind hier ein oder zwei Sylvinitlager eingeschaltet, und an Stelle des „Kalimutterlagers" von Staßfurt über dem älteren Steinsalz treten ein oder zwei nach Everding deszendente Hartsalzlager (s. unten) auf.

Eine wesentlich größere Abweichung vom Staßfurter Normalprofil zeigt das Salzlager des Werragebietes; dort folgen von oben nach unten:

Obere Zechsteinletten	10—20 m
Plattendolomit	15—25 m
Untere Zechsteinletten	35—65 m

Steinsalzlager (200—300 m) mit zwei 50 bis 70 m voneinander entfernten, je etwa 2 m mächtigen Hartsalzlagern;
Anhydrit;
Blasenschiefer des mittleren Zechsteins.

Um die Entstehung so mächtiger und ausgedehnter Salzlager zu erklären, nahm Ochsenius an, daß, ähnlich wie am Karabugasbusen am Ostufer des Kaspischen Meeres, beständig Meerwasser aus dem offenen Ozean über eine Barre in das flache Zechsteinbecken geströmt und dort verdunstet sei („Barrentheorie"); nach Walther sind die Salzlager unter ähnlichen Verhältnissen entstanden, wie noch heute in den abflußlosen Seen der Wüstengebiete Salzablagerungen entstehen. Everding, der sich z. T. der Ansicht von Ochsenius anschließt, unterscheidet einmal Muttersalzlager, die nach ihrer Zusammensetzung und ihrem organischen Aufbau durch einen einzigen ununterbrochenen Ausscheidungsvorgang entstanden sind (z. B. Salzfolge I bis III des Staßfurter Profils), ferner Deszendenzsalze, welche bereits in permischer Zeit durch Auflösung und Wiederabsatz eine oder mehrere Umlagerungen erfahren haben; deszendent sind nach Everding z. B. die hannoverschen Hartsalz- und Sylvinitlager und die gesamte Salzfolge des Werratypus; posthume Bildungen endlich sind in postpermischer Zeit im Anschluß an tektonische Bewegungen usw. durch eindringende Tagewasser umgelagert worden (z. B. der Kainit).

Der deutsche Kalibergbau, der von der Gegend von Staßfurt seinen Ausgang genommen hat, hat sich seit dem letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts in ungeahnter Weise entwickelt. Von 1880 bis 1905 sind für etwa 1000 Millionen Mark Kalisalze gefördert worden. Im Jahre 1911 standen 66 Werke in Förderung (im Abteufen des Schachtes 40 Werke) mit einer Belegschaft von etwa 22300 Mann, die 8311000 t Kalisalze im Werte von 91,3 Millionen Mark förderten (siehe den Artikel „Salzlagerstätten").

Literatur. ***H. B. Geinitz,*** *Dyas oder die Zechsteinformation und das Rotliegende. Leipzig 1861. Nachträge zur Dyas. I bis III. 1880 bis 1884.* — ***F. Frech,*** *Die Dyas, Lethaea geognostica, I. Teil, 2. Bd., 3. bis 4. Lief. Stuttgart 1901 bis 1902.* — ***E. Koken,*** *Indisches Perm und die permische Eiszeit. Neues Jahrb. f. Mineralogie usw. Festband 1907.* — ***H. Everding,*** *Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze. Berlin 1907.*

F. Meinecke.

Petit

Alexis Thérèse.

Geboren am 2. Oktober 1791 in Vesoul, Haute-Saône, gestorben am 21. Juni 1820 in Paris. Er war von 1807 bis 1809 Schüler, später Repetent und Professor an der polytechnischen Schule in Paris, wurde 1810 Professor der Physik am Lycée Bonaparte in Paris, 1815 an der polytechnischen Schule. Seine physikalischen Untersuchungen unternahm er zumeist in Gemeinschaft mit Dulong und veröffentlichte 1819 mit ihm das Gesetz, daß das Produkt aus spezifischer Wärme und Atomgewicht eine Konstante ist, welches als Dulong-Petitsches Gesetz bekannt ist. Außerdem bestimmten die beiden Physiker (1818) die Ausdehnungskoeffizienten fester Körper bei verschiedenen Temperaturen.

Literatur. ***Biot,*** *Journ. de phys. XVII.* — ***Derselbe,*** *Notice sur A. T. P., Ann. de chim. et phys. XVI.*

E. Drude.

Petit-Thouars

Louis Marie Aubert du.

Er wurde am 5. November 1758 auf dem Schlosse Boumois in Anjou geboren, besuchte zunächst die Militärschule zu Flèche und wurde in Lille Offizier, betrieb aber gleichzeitig das Studium der Mathematik und der Naturwissenschaften. Er gelangte nach abenteuerlichen Schicksalen nach Mauritius, dessen Flora er während zweier Jahre studierte, hielt sich darauf 6 Monate auf Madagaskar und schließlich zu gleichem Zweck noch 3½ Jahre auf Réunion (Bourbon) auf. Nach 10-jähriger Abwesenheit kehrte er nach Frankreich mit großen Sammlungen zurück, wurde 1807 Direktor der Baumschule von Roule und 1820 Mitglied der Pariser Akademie. Er starb zu Paris am 12. Mai 1831.

Seine Arbeiten bezogen sich zunächst ausschließlich auf die Bearbeitung der auf seinen Reisen gesammelten Pflanzen (Paris 1804, 1806, 1811, 1819 und 1822), in späteren Jahren hat er sich, wenn auch nicht mit besonderem Glück, physiologischen und morphologischen Studien gewidmet. Er wies unter anderem nachdrücklich auf das auch bei manchen Monokotylen bestehende sekundäre Dickenwachstum hin und gab eine verfehlte Erklärung des Dickenwachstums der

Digitized by Google

Bäume überhaupt, die er mit Hartnäckigkeit verteidigte (vgl. namentlich „Essais sur l'organisation des Plantes etc., Paris 1806, Essais sur la végétation considérée dans le développement des bourgeons, ebenda 1809 und „Histoire d'un morceau de bois etc.", ebenda 1815).

Literatur. *Flourens, Éloge historique etc. Paris 1854. Deutscher Auszug in Flora, 1845, S. 439–447.*

W. Ruhland.

Petrochemie der Eruptivgesteine.

1. Chemische Bestandteile der Eruptivgesteine. 2. Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung und ihre graphische Darstellung. 3. Gesetzmäßigkeiten in der Zusammensetzung: a) Allgemeine. b) Alkali- und Alkalikalkreihe. Petrographische Provinzen. Blutsverwandtschaft. c) Ganggesteine und Ganggefolgschaft. 4. Erklärung der chemischen Verschiedenheit und der sie beherrschenden Gesetzmäßigkeiten. 5. Chemische Klassifikation der Eruptivgesteine. 6. Die mittlere Zusammensetzung der Eruptivgesteine und des Urmagmas.

1. Chemische Bestandteile der Eruptivgesteine. Die Stoffe, welche die Eruptivgesteine zusammensetzen, kann man in 3 Gruppen teilen. Die der ersten Gruppe sind (mit spärlichen Ausnahmen s. Analyse 15) in allen Eruptivgesteinen enthalten, dabei in der Regel in so bedeutenden und wechselnden Mengen, daß ihr Verhältnis einer Analyse ihr charakteristisches Gepräge verleiht. Es sind die wesentlichen oder Hauptbestandteile: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, MgO, CaO, Na_2O und K_2O. Unter ihnen spielt SiO_2 die wichtigste Rolle; alle Gemengteile, auf denen die Klassifikation dieser Gesteine beruht, sind Silikate, zugleich schwankt ihre Menge von allen Bestandteilen innerhalb der weitesten Grenzen. Auch die Stoffe der zweiten Gruppe sind nahezu allgemein verbreitet, aber nur in weit geringeren und nicht charakteristischen Mengen, oft nur in Spuren; es sind die unwesentlichen oder Nebenbestandteile: TiO_2, ZrO_2, P_2O_5, MnO, BaO, SrO, Li_2O, V_2O_3. Wenn diese Stoffe häufig nicht angeführt werden, ist ihre Bestimmung unterblieben, die Analyse ist unvollständig. Die Stoffe der dritten Gruppe kann man als akzessorische bezeichnen. Sie sind nicht allgemein verbreitet, wenigstens nicht in den geringen zur Analyse verwandten Substanzmengen nachweisbar; häufig ist ihre Verteilung in einem Gesteinskörper keine gleichmäßige, sie sind lokal konzentriert in sauren oder basischen Schlieren und Ausscheidungen oder angereichert in pegmatitischen Gängen. Zu ihnen gehört eine große Anzahl, wohl die Mehrzahl der Elemente, so: Ni, Co, Cr, Cu, Sn, Au, Ce, Th, Ta, Cs, Rb, B, F, S, Cl, Mo, As usw. Außerdem geben alle vollständigen Analysen einen Wassergehalt an; in neueren Analysen wird unterschieden H_2O, das die lufttrockene Substanz schon unter 110° abgibt ($H_2O^{-110°}$) und solches, das erst über 110° entweicht ($H_2O^{+110°}$). Ersteres ist größtenteils hygroskopischer Natur, letzteres war gebunden, doch läßt sich eine scharfe Grenze zwischen beiden nicht ziehen, da auch Gemengteile wie Analcim ihr H_2O teilweise unter 110° verlieren. Der gebundene H ist zum Teil in primären Gemengteilen (Glimmer, Amphibol, Gesteinsglas) enthalten, also primär, zum Teil sekundär durch Verwitterung aufgenommen. Aeltere Analysen führen nur Glühverlust an; da beim Glühen außer Verlust von H_2O, CO_2 und anderen Substanzen auch O aufgenommen wird, hat diese Angabe wenig Wert.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß viele frische Eruptivgesteine beim Glühen im Vakuum oder unter Einwirkung von z. B. sirupöser Phosphorsäure zwischen 100 und 300° beträchtliche Mengen von Gasen: H, CO, CO_2, NH_4, N (und etwas Argon) abgeben. So lieferte 1 kg Granit von Vire (Volumen ca. 375 ccm) über 4 l Gas (bei 0° und 760 mm gemessen). In welcher Form diese Stoffe im Gestein enthalten sind, ist noch unbekannt.

Mit dem Eintritt der Verwitterung verändert sich die Zusammensetzung der Eruptivgesteine. Stoffe werden ihnen entzogen, wie besonders Alkalien und Kalk, andere aufgenommen wie H_2O und CO_2, Oxydulverbindungen werden höher oxydiert usf. Hoher H_2O-Gehalt oder Glühverlust lassen auf starke Umwandlung schließen. Durch derartige Umwandlungen kann das chemische Bild stark modifiziert werden; im folgenden sind sie nicht weiter berücksichtigt.

2. Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung und ihre graphische Darstellung. Die Analysen 1 bis 24 sollen ein, natürlich nicht erschöpfendes, Bild von der Verschiedenartigkeit und Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung von Eruptivgesteinen geben, sie sind nach abnehmender SiO_2 geordnet. 21 bis 24 beziehen sich auf magmatische Erzausscheidungen, die zwar nicht geologisch selbstständig auftreten, aber nicht selten so große zusammenhängende Massen bilden, daß sie für technische Zwecke abgebaut werden, sie sind deshalb hier mit angeführt.

(Siehe nächste Seite.)

1. Mittelkörniger Perthitgranit, Hummelstad, Småland, Schweden. — 2. Porphyrartiger Granit. Lake Tenaya, Californien (mit 0,08 BaO, Spur SrO und Li_2O). — 3. Riebeckitgranit, Hongnatten,

Digitized by Google

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
SiO_2	78,50	72,48	71,65	70,30	63,71	62,69	53,95	53,42	53,21
TiO_2	0,08	0,28	—	—	Spur	1,22	1,04	—	0,26
Al_2O_3	10,95	14,06	13,04	6,32	18,30	12,77	21,78	28,36	1,94
Fe_2O_3	0,36	0,89	2,79	9,23	2,08	3,22	0,62	1,80	1,44
FeO	0,70	1,05	1,80	1,40	2,52	4,79	2,42	—	7,92
MnO	0,06	Spur	—	—	Spur	0,60	0,15		0,22
MgO	0,18	0,62	Spur	0,89	0,09	3,09	0,54	0,31	20,78
CaO	1,00	2,17	Spur	0,84	1,18	5,02	1,92	10,49	13,12
Na_2O	3,15	3,30	6,30	7,70	6,39	2,39	8,60	4,82	0,11
K_2O	4,97	4,75	3,98	2,50	6,21	3,63	7,02	0,84	0,07
$H_2O+110°$	0,40	0,35	1,10	0,82	0,17[1]	1,06	2,30[1]	—	0,87
$H_2O-110°$		0,16			0,09			—	0,14
P_2O_5	0,02	0,09				Spur	Spur	—	Spur
Sa.:	100,37	100,28	100,66	100,00	100,74	100,48	100,34	100,04	100,47

	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
SiO_2	53,00	48,81	48,35	47,89	43,02	42,80	42,55	39,74
TiO_2	0,57	1,34	1,33	0,77	0,63	—	2,59	0,13
Al_2O_3	17,19	8,17	15,47	17,87	24,63	—	10,75	30,59
Fe_2O_3	4,78	3,46	4,80	4,93	3,59	—	4,92	0,44
FeO	5,05	3,22	7,58	3,64	2,17	9,40	6,60	2,19
MnO	Spur	Spur	0,21	—	Spur	—	Spur	0,03
MgO	4,66	14,84	8,15	3,68	1,96	47,38	15,51	0,60
CaO	8,08	7,06	8,81	8,70	5,47	—	10,80	5,75
Na_2O	2,92	1,71	3,09	2,60	14,81	—	2,94	13,25
K_2O	1,49	5,73	0,95	8,23	2,99	—	1,57	3,88
$H_2O+110°$	1,35	3,46	0,73	0,65	—	0,57	0,57[1]	1,00
$H_2O-110°$	—	—	0,28	—	—	—	—	—
P_2O_5	0,37	1,39	0,33	0,36	0,70	—	0,48	—
Sa.	99,46	100,34	100,26	99,68	99,97	100,15	99,83	99,86

	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.
SiO_2	38,57	34,03	24,19	21,25	12,42	4,08	0,87
TiO_2	2,90	2,69	Spur	6,30	12,31	14,25	10,91
Al_2O_3	14,99	8,41	12,00	5,55	6,46	6,40	0,53
Fe_2O_3	8,31	3,13	6,45	} 43,45	30,68	33,43	} 87,60
FeO	7,30	6,67	9,32	}	27,92	34,58	} —
MnO	0,32	—	Spur	0,40	—	0,45	—
MgO	5,82	14,68	14,07	18,30	3,35	3,89	—
CaO	8,35	18,20	17,37	1,65	3,95	0,65	—
Na_2O	6,39	4,58	1,99	—	0,50	0,29	—
K_2O	3,03	1,69	3,06	—	0,26	0,15	—
$H_2O+110°$	1,56	4,02	5,16	2,60	0,64	1,32	—
$H_2O-110°$	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5	1,92	1,10	3,96	0,13	0,82	0,02	—
Sa.	100,36	100,14	101,16	99,64	99,88	99,71	99,91

[1]) Glühverlust

(Siehe nächste Seite.)

Kristianiagebiet. — 4. Pantellerit, Khartibugal, Insel Pantelleria. — 5. Syenit (Pulaskit), Salem neck, Mass., U. S. A. — 6. Hornblendesyenit mit Augit, zwischen Nieder-Haunsdorf und Neudeck, Schlesien. — 7. Nephelinsyenit, Picota, Südportugal (mit Spur SrO, Li_2O, Cl und S). — 8. Anorthosit, Ogne, Norwegen. — 9. Pyroxenit (Websterit), Oakwood, Md., U. S. A. (mit 0,03 NiO; 0,20 Cr_2O_3; 0,10 CO_2; 0,03 FeS_2; Spur Li_2O und ZrO_2. — 10. Diorit, Schwarzenberg, Vogesen. — 11. Jumillit, Jumilla, Spanien (mit 0,25 BaO; 0,09 SrO; 0,81 CO_2). — 12. Plagioklasbasalt, San Rafael, N.M., U.S.A. (mit 0,06 BaO; 0,03 SrO; 0,02 NiO; 0,07 SO_3; Spur Li_2O, Cr_2O_3, S). — 13. Leucitit, Crocicchie bei Bracciano, Mittelitalien (mit 0,28 BaO, 0,02 ZrO_2; 0,06 SO_3). — 15. Dunit, Dun Mts., Neuseeland (mit Spur NiO, CoO). — 16. Limburgit, Lösershag, Rhön (mit 0,42 Cr_2O_3; 0,13 CoO). — 17. Jjolith (Monmouthit), Monmouth Co., Ontario (mit 0,02 Cl:

Digitized by Google

	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.
SiO_2	54,55	66,50	50,63	44,22	54,55	67,70	51,05	59,99
TiO_2	1,40	0,70	0,90	2,50	1,10	0,50	1,76	0,73
Al_2O_3	19,07	16,25	24,00	12,73	19,12	16,08	14,49	15,04
Fe_2O_3	2,41	2,04	2,33	5,68	2,74 }	5,26	4,16	2,59
FeO	3,12	0,19	2,21	5,18	3,06 }	—	4,37	3,34
MnO	0,17	0,20	—	0,45	0,17	—	—	0,10
MgO	1,98	0,18	1,54	6,98	2,06	0,95	8,16	3,89
CaO	3,15	0,85	2,13	11,57	3,38	1,65	5,11	4,81
Na_2O	7,67	7,52	11,30	2,12	7,72	3,22	1,85	3,41
K_2O	4,84	5,53	4,39	1,71	4,60	5,78	7,24	2,95
H_2O+110	0,72	0,50	0,63	2,74	(1,16)	—	1,05[1])	1,45
H_2O-110	—	—	—	—	—	—	—	0,47
P_2O_5	0,74	Spur	0,28	1,05	0,38	—	0,70	0,26
Sa.	99,82	100,46	100,40	100,59	100,04	101,14	99,94	100,00

[1]) Glühverlust.

0,07 S; Spur SO_2). — 18. Shonkinit, Katzenbuckel, Odenwald (mit 0,37 SO_3; 0,15 SrO; 0,38 $CaCl_2$). — 19. Melilithbasalt mit Nosean, Grabenstetten, Rauhe Alb (mit 0,94 SO_3 und Spur CO_2). — 20. Alnöit, Insel Alnö, Schweden (mit 0,53 Cl; 0,29 S; 2,77 CO_2; Spur Cr_2O_3). — 21. Magnetit-Olivinit, Taberg, Schweden (mit 0,01 S). — 22. Titaneisenerz, Lincoln Pond, N. Y. (mit 0,12 Cl; 0,04 S; 0,04 V_2O_3; 0,32 CO_2; 0,05 C; Spur F). — 23. Magnetit-Spinellit, Routivare, Schweden (mit 0,20 Cr_2O_3). — 24. Magmatisches Eisenerz, Sanford, N. Y., U. S. A. — 25. Laurdalit, Löve, Kristianiageb. — 26. Lestiwarit, Kvelle. — 27. Nephelinporphyr, Lougenthal. — 28. Camptonit, Kjose-Åklungen (mit 3,66 CO_2). — 29. Berechnete Zusammensetzung des Laurdalitmagmas aus der Zusammensetzung und dem Massenverhältnis seiner Ganggesteine. — 30. Durbacher Granitit, Riedle. — 31. Basische Grenzfacies von 30 (Durbachit.) — 32. Mittlere Zusammensetzung der Eruptivgesteine nach Clarke auf 100 berechnet (mit 0,03 ZrO_2; 0,49 CO_2; 0,11 S; 0,06 Cl; 0,02 F; 0,11 BaO; 0,04 SrO; 0,03 NiO; 0,05, Cr_2O_3; 0,02 V_2O_3; 0,01 Li_2O.

Graphische Darstellungen der Analysenresultate sind sehr viel und nach verschiedenen Systemen im Gebrauch; in der Regel werden nur die Hauptbestandteile berücksichtigt und entweder die Analysenzahlen selbst dargestellt oder zweckmäßiger Molekularquotienten resp. Molekularprozente. Solche Diagramme lassen das Charakteristische der Zusammensetzung mit einem Blick übersehen und erleichtern den Vergleich mehrerer Analysen ganz wesentlich. Eine einfache Darstellung von fünf Analysen I bis V (Text siehe später) gibt Figur 1. Die SiO_2 in % wird auf der Abszisse, die Basen auf den zugehörigen Ordinaten aufgetragen; die Ordinatenpunkte für je eine Base sind geradlinig verbunden. Man übersieht leicht die Abhängigkeit der Basen voneinander und von der Kieselsäure. Figur 2 und 3 sind Diagramme, wie sie von Brögger (Lit. 3) eingeführt worden sind;

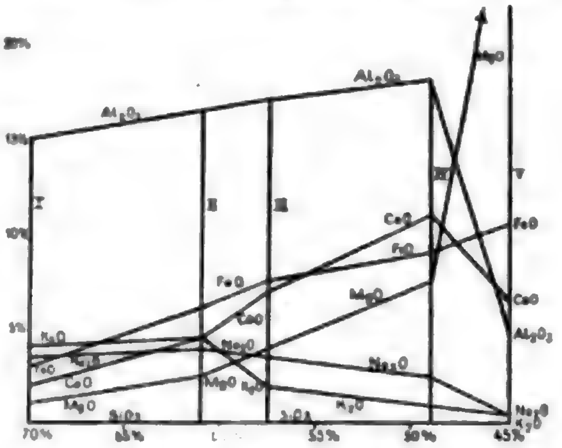


Fig. 1.

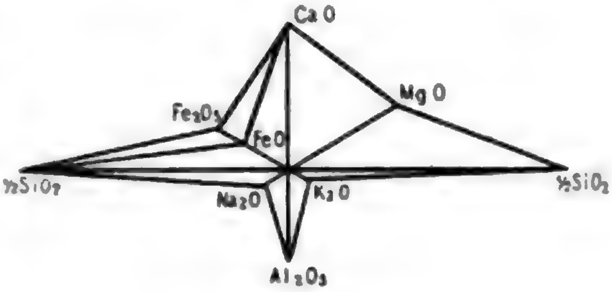


Fig. 2.

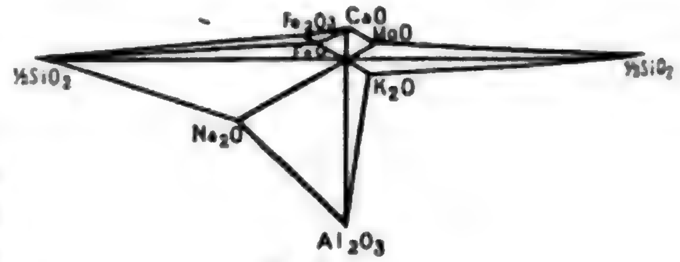


Fig. 3.

jedes Diagramm stellt die Molekularquotienten einer Analyse dar. Vom Mittelpunkt

der Figur aus wird auf der Horizontalen nach beiden Seiten die halbe SiO_2 aufgetragen, auf der Vertikalen nach oben CaO, nach unten Al_2O_3, dann auf 2 Achsen, die gegen die Vertikale unter 60° geneigt sind, nach rechts oben MgO, nach rechts unten K_2O, nach links unten Na_2O, nach links oben FeO und darüber hinaus Fe_2O_3. Durch Verbindung der Endpunkte erhält man eine geschlossene Figur, die im linken oberen Quadranten nochmals geteilt ist. Man übersieht sofort, daß Figur 2 einem an dunklen Gemengteilen sehr reichen Gestein angehört (hohe Werte für MgO und die Eisenoxyde), in dem Alkalitonerdesilikate stark zurücktreten; bei Figur 3 ist das Umgekehrte der Fall. Dieselben beiden Gesteine sind noch in Figur 4 und 5 nach eine

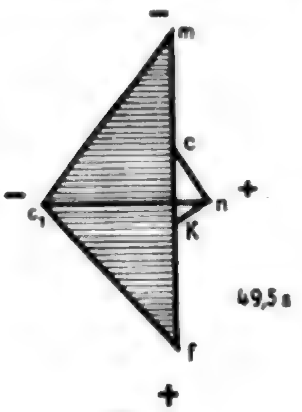


Fig. 4.

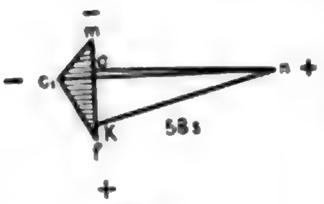


Fig. 5.

Methode von Michel-Levy (Lit. 10 und 11) dargestellt. Auf einem rechtwinkeligen Koordinatensystem werden vom Ursprung aus folgende Größen abgeschnitten (ebenfalls in Molekularquotienten): Auf der + Ordinate der Kaligehalt (verbunden mit Al_2O_3 im Verhältnis 1:1) — Punkt k, auf der + Abszisse der Natrongehalt (verbunden mit Al_2O_3 im gleichen Verhältnis) — Punkt n; da bei Eruptivgesteinen in der Regel CaO + Alkalien > Al_2O_3 > Alkalien ist, wird der noch freie Rest der Al_2O_3 mit CaO im Verhältnis 1:1 auf der — Ordinate abgeschnitten — Punkt c. Der noch verfügbare Rest von CaO, die MgO und die Summe der Eisenoxyde geben die Punkte c_1, m und f. Durch Verbindung von c und k mit n sowie f und m mit c_1 erhält man zwei Dreiecke, die durch die Ordinatenachse getrennt werden. Das schraffierte Dreieck mc_1f gibt ein Maß für die Menge der tonerdefreien Kalkmagnesiaeisensilikate (dunkle Gemengteile), das Dreieck cnk für die hellen Kalk- und Alkalitonerdesilikate. Der SiO_2 Gehalt wird nicht dargestellt, sondern rechts zur Figur geschrieben (58s und 49,5s). Das Charakteristische dieser Methode liegt darin, daß die Tonerde nicht für sich dargestellt wird, sondern durch die Summe der Koordinaten ok, on und oc repräsentiert wird. Ueber die Berechtigung der Zusammenfassung von Al_2O_3 mit Alkalien und Kalk im Verhältnis 1:1 siehe später bei „Chemische Klassifikation". Ueber die Modifikationen der Darstellung, wenn $K_2O + Na_2O > Al_2O_3$ oder $Al_2O_3 > CaO + Na_2O + K_2O$ muß auf die Originalarbeit verwiesen werden. Ebenso für andere Diagramme von Mügge (Lit. 13) und Iddings (Lit. 9).

3. Gesetzmäßigkeiten in der Zusammensetzung. 3a) Allgemeine. Da die Eruptivgesteine Gemenge verschiedener Mineralien in wechselnden, nicht festen Verhältnissen sind, kann ihre Zusammensetzung nicht auf einfache stöchiometrische Verhältnisse zurückgeführt werden; einfache chemische Formeln lassen sich also für sie nicht angeben. Dagegen treten bei Vergleich einer größeren Anzahl von Analysen die folgenden Gesetzmäßigkeiten hervor:

1. Die Menge der Hauptbestandteile variiert innerhalb weiter, aber für jeden charakteristischer Grenzen. *SiO_2* durchläuft bei Tiefen- und Ergußgesteinen alle Werte von ca. 80 bis 34% (Anal. 1 bis 19), sinkt in manchen Ganggesteinen bis 24% (Anal. 20) und in magmatischen Erzen bis nahezu 0% (Anal. 24). Nach dem SiO_2-Gehalt teilt man die Eruptivgesteine in saure ($SiO_2 > 65\%$), neutrale ($SiO_2 < 65 > 52\%$) und basische ($SiO_2 < 52\%$). *Al_2O_3* bewegt sich in der Regel zwischen 0 und 24% und erreicht nur selten bei Anorthositen und sehr nephelinreichen Gesteinen 30% Anal. 8 und 17). Korundreiche Syenite aus Canada und dem Ural enthalten bis 60% Al_2O_3, es ist aber noch fraglich, ob sie normale Eruptivgesteine sind oder ob ihr Al_2O_3-Reichtum durch Resorption fremder Einschlüsse oder andere anormale Umstände bedingt ist. Der Gehalt an Eisenoxyden liegt nur selten, bei sehr sauren Gesteinen, unter 1% und kann bei Erzausscheidungen bis zu nahezu 100% steigen (Anal. 24). Die Grenzen der *MgO* bewegen sich zwischen Spuren (Anal. 3) und ca. 48% (Anal. 15). *CaO* wächst von Spuren bis nahezu 20% bei Anorthositen, Pyroxeniten und manchen Basalten (Anal. 19); das gleiche gilt für die Summe der *Alkalien* (Anal. 14 sowie 15 und 17). Das Verhältnis von Natron und Kali schwankt innerhalb weiter Grenzen (Anal. 8 und 11); in sehr alkalireichen Gesteinen herrscht Na_2O stets vor.

Die Analysenzahlen für die unwesentlichen und akzessorischen Bestandeile liegen im allgemeinen unter 1%, bei den meisten unter 0,5%. Eine Ausnahme macht *TiO_2*, die in manchen Basalten 5 bis 6%, in magmatischen Erzausscheidungen 15 bis 20% er-

reicht (Anal. 23), sowie P_2O_5 mit 2 % in basischen Eruptivgesteinen und 4 bis 5 % in Erzen (Anal. 20). Die Verteilung der akzessorischen Stoffe ist eine recht verschiedene. Manche sind hauptsächlich an sehr saure, kalk- und magnesiumarme Gesteine gebunden wie F, Be, Mo, U, Sn, zum Teil auch Au, andere sind in neutralen sehr alkalireichen Gesteinen wie Nephelinsyeniten und ihren Pegmatiten angereichert wie Cl, S (in der Form von SO_4), Ce, La, Di, wieder andere in basischen, sehr magnesiareichen Olivingesteinen wie Ni, Co, Cr, Platinmetalle usw. In basischen kalkreichen Gabbros und Pyroxeniten ist oft S in Form von Sulfiden konzentriert.

Der primäre Wassergehalt übersteigt selten 2 %, kann aber in glasigen Eruptiven wie Pechsteinen bis zu 10 und 12 % anwachsen.

2. Es bestehen innerhalb gewisser Grenzen Beziehungen zwischen den Analysenwerten der Hauptbestandteile, sie sind nicht unabhängig voneinander. Es ist dies ein wichtiger Unterschied der Eruptivgesteine gegenüber Sedimentgesteinen und vielen kristallinen Schiefern, bei denen eine solche Abhängigkeit, wenigstens in dem Grade, nicht existiert. So kennt man beispielsweise keine Eruptivgesteine, bei denen hoher Kieselsäuregehalt mit hohen Werten von Magnesia oder Kalk kombiniert ist, wie dies bei Kalk- oder Dolomitsandsteinen der Fall ist; ebenso schließen hohe Magnesia- und hohe Alkaligehalte sich gegenseitig aus. Um einen Ueberblick über diese Gesetzmäßigkeiten zu bekommen, vergleicht man am besten Mittelwerte, die aus einer größeren Anzahl von Analysen der zugleich in größter Masse auftretenden Eruptivgesteine abgeleitet sind; die Einzelwerte der Tabelle sind für eine solche Uebersicht nicht geeignet, da in ihr die Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung gerade durch Extreme demonstriert werden sollte und manche der dort vertretenen Gesteine wie Pantellerit, Iumillit, Ijolith nur in geringer Verbreitung bekannt sind. In Figur 1 sind unter I bis V Mittelwerte von Tiefengesteinen der Alkalikalkreihe (siehe später) dargestellt, und zwar unter I das Mittel von 236 Graniten, II von 50 Syeniten, III von 70 quarzfreien Dioriten, IV von 41 Gabbros und V von 49 Peridotiten (Mittelwerte nach Daly, Lit. 7); sie sind auf wasserfreie Substanz berechnet und alles Eisen auf FeO, da das Verhältnis von $FeO:Fe_2O_3$ stark vom Erhaltungszustand der Gesteine abhängt. Aus dem Diagramm ergibt sich folgendes: Tonerde hat bei den sauersten Graniten einen Durchschnittswert von 11 bis 13 %, steigt mit abnehmender SiO allmählich an und erreicht bei Gabbros mit 50 bis 52 % SiO_2 ein Maximum, sinkt dann rasch bei Peridotiten mit 45 % SiO_2 auf 5 %. Bei sauren Graniten ist FeO > CaO > MgO; mit abnehmender SiO_2 steigen alle drei zunächst langsam und gleichmäßig, dann CaO und MgO rascher als FeO. CaO hat ein Maximum mit 11 bis 12 % und sinkt dann rasch wieder, während MgO sehr stark zunimmt (der Schnittpunkt der MgO-Linie mit V, liegt bei 29 %). FeO steigt innerhalb der dargestellten Grenzen am gleichmäßigsten, würde aber bei Verlängerung des Diagrammes in den magmatischen Eisenerzen auf Kosten aller übrigen Bestandteile sehr stark zunehmen. Bei sauren Eruptivgesteinen ist im allgemeinen $K_2O > Na_2O$; beide nehmen mit abnehmender SiO_2 langsam zu, erreichen bei 61 bis 62 % SiO_2 ihren Maximalwert, nehmen ab, und zwar K_2O schneller als Na_2O, so daß $Na_2O > K_2O$ wird, und sinken bei 45 % SiO_2 auf 0,5 %. Natürlich kann die geringe Zahl der Ordinaten diese Gesetzmäßigkeiten nur in ganz allgemeinen Zügen darstellen; bei Gesteinen der Alkalireihe würde, wie aus dem Folgenden hervorgeht, das Diagramm etwas modifiziert sein.

3b) **Alkali- und Alkalikalkreihe. Petrographische Provinzen. Blutsverwandtschaft.** Wenn man eine größere Anzahl von Analysen, am besten von annähernd gleichem Kieselsäuregehalt, an der Hand von Diagrammen überblickt, fällt auf, daß die Schwankungen in den Mengenverhältnissen der Basen sich hauptsächlich nach zwei Richtungen vollziehen. Ein Teil der Analysen zeigt hohe Werte für Alkalien und in der Regel auch Tonerde neben Zurücktreten von Kalk und Magnesia; ist die Tonerde niedrig, so wird sie durch eine äquivalente Menge von Eisenoxyd ersetzt und bei nicht zu niederem Kieselsäuregehalt ist der molekulare Alkaligehalt häufig höher als der der Tonerde. Bei einem anderen Teil der Analysen findet gerade das Umgekehrte statt. Dieser Unterschied läßt sich durch saure, neutrale und basische Tiefen-, Erguß- und Ganggesteine verfolgen. Man nennt Vertreter der ersteren Kategorie Gesteine der Alkalireihe, solche der letzteren Gesteine der Alkalikalkreihe. Tabelle I gibt typische Beispiele, so Analyse 5 und 6, 7 und 10, 16 und 17 usw. Analyse 4 gehört einem Gestein der Alkalireihe an, in dem ein großer Teil der Tonerde durch Eisenoxyd ersetzt ist. In der mineralogischen Zusammensetzung, die in erster Linie von der chemischen abhängig ist, tritt dieser Unterschied ebenfalls hervor. Die typischen Vertreter der Alkalireihe enthalten zum Teil in hohem Betrag Mineralien der Nephelin-, Leucit- und Sodalithfamilie sowie alkalireiche Pyroxene und Amphibole (Aegirin, Rie-

beckit, Arfvedsonit usw.), die denen der Alkalikalkreihe vollständig fehlen. Von großer Wichtigkeit ist ferner, daß der Gegensatz der beiden Reihen auch in dem geologischen Auftreten scharf zutage tritt: Gesteine einer Reihe von sehr verschiedener Azidität kommen zusammen vor und sind auch durch Uebergänge verknüpft, schließen aber in der Regel solche der anderen vollständig aus. Man spricht in diesem Sinne von „petrographischen Provinzen", solchen der Alkaligesteine und der Alkalikalkgesteine und von einer „Blutsverwandtschaft (consanguinity, Lit. 8)" der Gesteine einer solchen Provinz. So ist das sogenannte „Kristianiagebiet" im südlichen Norwegen ein ausgezeichnetes Beispiel einer Provinz der Alkaligesteine. Trotz der chemischen Mannigfaltigkeit — es enthält Eruptiva von 75 bis 40% SiO_2, — tragen alle seine Gesteine den ausgesprochenen Charakter der Alkalireihe; Nephelin, Aegirin, Arfvedsonit usw. sind allgemein verbreitete Gemengteile in ihnen. Im Gegensatz dazu ist das „Brockenmassiv" im Harz eine Provinz der Alkalikalkreihe; nie ist in den ebenfalls mineralogisch und chemisch sehr verschiedenartig zusammengesetzten Gesteinen dieses Gebietes ein Korn der erwähnten alkalireichen Mineralien gefunden worden. Von den tertiären Vulkangebieten des zentralen Europas sind Kaiserstuhl, Hegau, Rhön, das böhmische Mittelgebirge der weiteren Umgebung von Aussig Alkaliprovinzen, dagegen die großen Züge von Eruptivgesteinen, die den Innenrand der Karpaten durch Ungarn und Siebenbürgen einfassen, solche der Alkalikalkreihe. Das geologische Auftreten solcher jung vulkanischer Gebiete zeigt eine weitere Gesetzmäßigkeit: Das Auftreten der Alkalikalkgesteine ist an die Ränder von Kettengebirgen, die hauptsächlich Faltungsvorgängen in der Erdkruste ihre Entstehung verdanken, gebunden. So liefern die zahlreichen zum Teil noch tätigen Vulkane, die die Küsten des pazifischen Ozeans von der Südspitze Amerikas bis zu den Sundainseln umsäumen, nur Alkalikalkgesteine. Wo dagegen Vulkane auf Schollengebirgen aufgesetzt oder längs deren Bruchlinien angeordnet sind, werden Alkaligesteine gefördert, so auf den Inselgruppen des östlichen atlantischen Ozeans, den Capverden, Canaren, Azoren. Becke (Lit. 2) nennt deshalb die Gesteine der Alkalikalkreihe auch pazifische, die der Alkalireihe atlantische Sippe.

Die Blutsverwandtschaft in einer petrographischen Provinz tritt nicht selten durch eine auffallende Konstanz im Mengenverhältnis einzelner Bestandteile, so besonders der Alkalien, hervor. Als Beispiele seien angeführt (in Molekularverhältnissen):

	Na_2O	:	K_2O
Leucitsyenit, Davis Creek	1	:	1,1
Monzonit, Highwood Peak	1	:	1,1
Monzonit, Middle Peak	1	:	1,3
Essexit, Pallisade Butte	1	:	1,3
Augitsyenit, Yogo Peak	1	:	0,7
Quarzsyenit, Beaver Creek	1	:	0,7
Yogoit, Yogo Peak	1	:	0,8
Yogoit, Beaver Creek	1	:	0,9
Vesuvlava 1631	1	:	1,8
Vesuvlava 1760	1	:	1,9
Vesuvlava 1810	1	:	1,8
Vesuvlava 1834	1	:	1,7
Vesuvlava 1850	1	:	1,8
Vesuvlava 1872	1	:	1,8
Vesuvlava 1891 bis 1893	1	:	1,9
Vesuvlava 1903	1	:	1,9

Die ersten vier Analysen beziehen sich auf Tiefengesteine von den Highwood Mts, die vier nächsten auf solche von den Bearpaw Mts; beide Gebiete sind kleine Provinzen der Alkalireihe in Montana, ersteres eine Provinz der „Kalivormacht", letzteres der „Natronvormacht". Auch die historischen Laven des Vesuvs in der untersten Reihe sind ausgesprochene Vertreter der Kalivormacht.

3c) Ganggesteine und Ganggefolgschaft. Die neuere Petrographie hat den beiden großen Klassen der Tiefen- und Ergußgesteine noch eine dritte, die der Ganggesteine, angegliedert. Rosenbusch (Lit. 16), dem man diese Unterscheidung verdankt, führt als Charakteristikum der Ganggesteine jenen gegenüber an:

α) Die Ganggesteine sind keine geologisch selbständigen Gesteine, ihr Auftreten ist stets an die Nähe bestimmter Tiefengesteine gebunden, von denen sie auch stofflich abhängig sind. Man spricht daher von einer bestimmten Ganggefolgschaft eines Tiefengesteins.

β) Die geologische Erscheinungsform dieser Gesteine ist fast ausnahmslos die von Gängen. Das hängt wohl davon ab, daß sie meistens nur geringe Masse besitzen und bei ihrem Gebundensein an die Nähe der Tiefengesteinskörper die Erdoberfläche nicht erreichen. In den seltenen Fällen, wo dies eintritt, bilden sie stets nur Oberflächenergüsse von geringen Dimensionen (z. B. die lamprophyrischen Ergußgesteine); ihre Beziehung zu Tiefengesteinen ist dann noch nicht durch die Erosion bloßgelegt. Die Gänge durchsetzen zum Teil die Nachbargesteine des Tiefengesteins, zum Teil dieses selbst, besonders in seinen peripherischen Teilen, sind also im allgemeinen etwas jünger als dieses. Ihre Verschiedenartigkeit, Häufigkeit und die Entfernungen, bis zu welchen sie sich in das Nebengestein verfolgen lassen, hängen wohl von der Natur des Tiefengesteins und seiner Masse ab,

Digitized by Google

doch ist darüber noch weniges mit Sicherheit festgestellt.

γ) Die physikalischen Verhältnisse, unter denen die Ganggesteine fest werden, sind im allgemeinen andere als dies bei Tiefen- und Ergußgesteinen der Fall ist, sie zeigen daher nicht selten Strukturen, die diesen beiden Klassen fremd sind oder bei ihnen sich nur lokal in Randfaciesbildungen finden.

Nach ihren stofflichen Beziehungen zu den Tiefengesteinen teilt man die Ganggesteine in aschiste (ungespaltene) und diaschiste (abgespaltene). Die Aschisten weichen in ihrer chemischen Zusammensetzung nicht oder nicht wesentlich von der ihres Tiefengesteins ab, sie sind jüngere Nachschübe des Tiefengesteinsmagmas selbst. Die Diaschisten dagegen sind chemisch anders zusammengesetzt und lassen sich in zwei Gruppen teilen; die Glieder der einen sind reicher an zweiwertigen Metallen, besonders Eisen und Magnesium und ärmer an Alkalien und Kieselsäure als ihr Tiefengestein (femische Ganggesteine, nach den Anfangsbuchstaben von Ferrum und Magnesium, oder auch melanokrate Ganggesteine, weil in ihnen die dunklen Gemengteile vorherrschen, lamprophyrische nach Rosenbusch); die der anderen Gruppe sind reicher an Alkalien, in der Regel auch Kieselsäure und Tonerde und ärmer an zweiwertigen Metallen (salische Ganggesteine, nach den Anfangsbuchstaben von Silicium und Aluminium oder leukokrate mit vorherrschend hellen Gemengteilen, aplitische nach Rosenbusch). So werden die Granite unserer deutschen Mittelgebirge begleitet von den aschisten Granitporphyren, den leukokraten Apliten und melanokraten Minetten. Brögger (Lit. 3) unterscheidet als Begleiter des südnorwegischen Nephelinsyenits (Laurdalit) nicht weniger als 18 Ganggesteintypen, von deren chemischer Verschiedenheit die Analysen 26 bis 28 einen Begriff geben sollen. Analyse 25 ist die des Tiefengesteins (Laurdalits) selbst, Analyse 26 die eines sauren leukokraten Ganggesteins (Lestiwarits) mit sehr geringen Mengen von CaO und MgO. Analyse 27 die eines leukokraten Gesteins (Nephelinporphyrs) mit hoher Tonerde. Analyse 28 die eines melanokraten Ganges (Camptonit). Die Analysen 27 und 28 liegen den beiden Diagrammen Figur 3 und 2 zugrunde.

Die chemische Zusammengehörigkeit eines Tiefengesteins und seiner Ganggesteine tritt zum Teil wieder durch eine auffallende Konstanz im Verhältnis einzelner Stoffe hervor. So verhält sich nach Brögger (in Molekularzahlen:)

	CaO	: MgO	: MnO	: FeO	: Fe_2O_3	Gehalt an CaO
Im Tiefengestein Laurdalit	1	: 0,88	: 0,04	: 0,77	: 0,27	3,15
in seinen Ganggesteinen:						
Natronminette von Brathagen	1	: 0,99	: 0,04	: 0,75	: 0,27	4,52
Natronminette von Hao	1	: 0,80	: 0,04	: 0,73	: 0,23	6,10
Heumit von Heum	1	: 0,92	: 0,04	: 0,72	: 0,21	7,64
Bronzitkersantit von Hovland	1	: 0,98	: nicht bestimmt	: 0,76	: 0,22	8,79

Wenn, wie man annimmt, die Ganggesteinsmagmen Spaltungsprodukte (siehe später) ihres zugehörigen Tiefengesteinsmagmas sind, so muß man aus der Zusammensetzung der ersteren unter Berücksichtigung ihres Massenverhältnisses das letztere (Stammmagma) berechnen können. Brögger ist bei dieser Berechnung zu den Zahlen unter 29 gekommen, die auffallend gut mit der Laurdalitanalyse 25 übereinstimmen; diese sehr gute Uebereinstimmung kann nur eine zufällige sein, da sicher nicht alle Ganggesteinskörper aufgefunden sind und das Volumen der bekannten nur angenähert geschätzt werden kann; immerhin ist das Resultat sehr bemerkenswert. In manchen Fällen hat man nachgewiesen, daß durch Addition der Analysenwerte eines diaschisten Ganggesteines mit einem Multiplum derjenigen eines anderen die Zusammensetzung des zugehörigen Tiefengesteins resultiert; solche Ganggesteine, von denen das eine leukokrat, das andere melanokrat sein muß, hat man komplementäre genannt.

4) **Chemische Verschiedenheit der Eruptivgesteine. Gesetzmäßigkeiten.** In der Erklärung einerseits der großen chemischen Verschiedenheit der Eruptivgesteine, andererseits der Gesetzmäßigkeiten, denen ihre Zusammensetzung unterworfen ist, stehen sich hauptsächlich zwei Hypothesen gegenüber: die Mischungs- und die Spaltungs- oder Differentiationshypothese. Erstere wurde von Bunsen zur Erklärung der Laven Islands aufgestellt; nach ihr sind alle Eruptiva dieser Insel als Mischungen zweier extrem verschiedener Magmen aufzufassen, eines sauren „normaltrachytischen" und eines basischen „normalpyroxenischen", die getrennten Herden entstammen und auf ihrem Weg zur Erdoberfläche sich in wechselnden Verhältnissen mischen können. Diese Anschauung wurde später von anderen Autoren auch auf andere Eruptivgebiete übertragen, zum Teil unter Zuhilfenahme weiterer Endglieder. Wie schon aus den wenigen Analysen der Tabelle hervorgeht, müßte indessen die Anzahl dieser primären Endglieder bei einer Verallgemeinerung der Hypothese eine recht große sein und die

Digitized by Google

Frage nach der Entstehung der Endglieder selbst bleibt überhaupt eine offene. Die Spaltungs- oder Differentiationstheorie, die jetzt wohl allgemein angenommen wird, geht im Einklang mit der Kant-Laplaceschen Theorie von einem ursprünglich homogenen Urmagma aus, aus dem sich durch Spaltungsvorgänge Teilmagmen verschiedener Zusammensetzung entwickeln und die ihrerseits wieder spaltungsfähig solche jüngerer Generationen von ebenfalls differenter Zusammensetzung liefern würden. Diese Vorgänge hat man sich ihrer Natur nach als zweierlei vorgestellt: Spaltung im engeren Sinn (Liquation), bei der ein Stammagma in zwei oder mehrere nicht mischbare, also räumlich scharf getrennte Teilmagmen zerfällt und Differentiationen, bei denen sich in einer Magmamasse durch Stoffwanderung (Diffusion?) örtlich eine Verschiedenheit in der Zusammensetzung einstellt, ohne daß scharfe Grenzen sich dabei herausbilden. Solche Prozesse könnten sich auch vollziehen, nachdem schon ein Teil des Magmas zur Auskristallisation gekommen ist, oder es könnte eine Scheidung des schon Festen von dem noch Flüssigen, z. B. nach dem spezifischen Gewicht stattfinden. Als Endprodukte fortgesetzter solcher Vorgänge entstehen, wie auch nach physikalisch-chemischen Gesetzen zu erwarten ist, einmal Magmen, die in ihrer Zusammensetzung mit der eines Minerales annähernd übereinstimmen (anchimonomineralische Magmen Vogts, Lit. 18), und solche, die dem eutektischen Mengenverhältnis zweier oder mehrerer Mineralien entsprechen (anchieutektische Magmen). Aus den ersteren bilden sich monomineralische Eruptivgesteine wie Dunite, Anorthosite, Pyroxenite usw., aus letzteren Gesteine, die aus verschiedenen Gemengteilen in eutektischem Mengenverhältnis bestehen, sie sind oft durch Eutektstrukturen ausgezeichnet wie Schriftgranite.

Chemische Eigentümlichkeiten eines Muttermagmas vererben sich nach dieser Theorie auf seine Teilmagmen (Blutsverwandtschaft). Gesteine einer petrographischen Provinz stammen von einem gemeinsamen Magma ab, das ein abgeschlossenes Magmabassin innerhalb der festen Erdkruste erfüllt (die Entstehung solcher abgeschlossener Bassins hat Stübel vom geologischem Standpunkt aus erklärt). Diaschiste und komplementäre Ganggesteine sind Spaltungsprodukte des zugehörigen Tiefengesteinsmagmas.

Als der Beobachtung zugängliche Beweise für Spaltungen und Differentiationen betrachtet man u. a. die „gemischten Gänge“ (I. Art) und die Randfaciesbildungen. Bei den gemischten Gängen, wie sie z. B. im Trusental (Thüringen) auftreten, wird eine Gangspalte von zwei chemisch und mineralogisch verschieden zusammengesetzten Eruptivgesteinen ausgefüllt; ein saures a (Granit- oder Syenitporphyr) bildet die Gangmitte, ein basisches b („Melaphyr“) die seitlichen dem Nachbargestein angrenzenden Teile, die Grenze zwischen a und b ist im allgemeinen scharf. Der bilateralsymmetrische Bau dieser Gänge und eine Reihe anderer Verhältnisse führen zu der Annahme, daß die Gangkluft ursprünglich von einem homogenen Magma ausgefüllt wurde, und daß a und b Spaltungsprodukte desselben sind. Grenzfaciesbildungen sind in besonders charakteristischer Weise bei Tiefengesteinsstöcken und Lakkolithen ausgebildet. Zentrale und peripherische Teile einer solchen Intrusivmasse zeigen verschiedene Zusammensetzung, beide sind durch schrittweise zu verfolgende Uebergänge verbunden. In der Regel hat an der Peripherie (Abkühlungsfläche) eine Anreicherung der zweiwertigen Metalle Fe, Mg und Ca stattgefunden, das Randgestein besitzt femischen Charakter, der zentrale Teil ist saurer, reicher an Tonerde und Alkalien, also salischer; Analyse 30 und 31 geben, erstere die Zusammensetzung des zentralen Teiles eines Granitstockes im mittleren Schwarzwald, letztere seine peripherische basische Randfacies.

Ueber die Ursachen, die solche Spaltungsvorgänge hervorrufen, gehen die Ansichten weit auseinander (Lit. 1, 3, 6, 8, 12, 17), jedenfalls müssen sie zum Teil physikalischer, zum Teil chemischer Natur sein. Man rechnet zu ihnen Druck- und Temperaturveränderungen, die mit dem Empordringen von Magma verknüpft sein müssen, Temperaturdifferenzen in zentralen und peripherischen Teilen größerer Magmamassen, Sonderungen nach dem spezifischen Gewicht, chemische Veränderungen, die durch den Austritt von Stoffen in Gas- und Dampfform bei Druckentlastung eintreten, vielleicht auch elektrische Vorgänge u. a. m.

Daß neben solchen Spaltungen auch Mischungen von Magmen vorkommen können, ist zweifellos. Auch kann die Zusammensetzung von Eruptivmagmen durch Resorption fremder Gesteinseinschlüsse oder Auflösung von Nebengestein beeinflußt werden.

5. Chemische Klassifikation der Eruptivgesteine. Die Klassifikation der Eruptivgesteine beruhte bis vor wenigen Jahren ganz auf der qualitativen mineralogischen Zusammensetzung und der Struktur. Seitdem besteht das Bestreben, auch das quantitative Verhältnis der Gemengteile, das in der chemischen Zusammensetzung des Gesteins seinen Ausdruck findet, mit als klassifikatorischen Moment zu benutzen. Es sind zur Zeit wesentlich zwei solcher Klassifikationen im Gebrauch. Die eine (Lit. 4)

Digitized by Google

führt eine vollständig neue Systematik ein, die von mineralogischen und strukturellen Eigenschaften ganz absieht und nur auf der Analyse basiert; die andere (Lit. 14) sucht unter Beibehaltung der alten eingebürgerten Namen und des alten Einteilungsprinzipes innerhalb jeder Gesteinsfamilie chemisch Gleichartiges zu Typen zusammenzufassen, die alte Klassifikation also nicht zu eliminieren, sondern zu ergänzen. Die Erstere ist besonders bei amerikanischen, die Letztere bei deutschen Autoren im Gebrauch und nur diese soll hier kurz besprochen werden. Unter Vernachlässigung unwichtiger und akzessorischer Stoffe werden die Molekularprozente der Hauptbestandteile zu wenigen Konstanten zusammengefaßt, deren Verhältnis für jeden Typus charakteristisch ist. Diese Konstanten sind Atomgruppen, die sich auch in den die Hauptgemengteile zusammensetzenden Molekülen wiederfinden. Die SiO_2 (inkl. TiO_2) wird als Konstante s den Basen gegenübergestellt. Für die Zusammenfassung der Basen in Atomgruppen sind folgende Erfahrungssätze maßgebend: 1. Reine Tonerdesilikate sind normalen Eruptivgesteinen fremd. 2. Die Tonerde hat in Eruptivmagmen das Bestreben, nur mit anderen Basen zusammen Silikate zu bilden, und zwar in erster Linie mit Alkalien, in zweiter mit Kalk und erst in dritter mit Magnesia und den Oxyden des Eisens. In Verbindung mit Alkalien setzt sie die wichtigen Moleküle der Alkalifeldspäte und der sogenannten Feldspatvertreter Nephelin und Leucit zusammen, und zwar stets im Verhältnis 1 Al_2O_3:1Alkali, mit Kalk bildet sie wesentlich das Anorthitmolekül, in dem 1 Al_2O_3 mit 1 CaO verbunden ist. 3. Bei weitaus der größten Anzahl von Eruptivgesteinen ist CaO+Alkali>Al_2O_3>Alkali. Demzufolge werden zunächst die Alkalien mit Tonerde zu einer Konstanten $(K, Na)_2 Al_2O_4 = A$ vereinigt, der Rest der Tonerde mit CaO zur Konstanten $CaAl_2O_4 = C$ und endlich der übrige Kalk mit MgO und FeO zur tonerdefreien Konstanten (MgFe Ca)O (das gesamte Eisen wird als FeO in Rechnung gezogen). Diese Werte A, C und F geben ein jedenfalls sehr angenähert richtiges Bild von den Mengen, in denen sich Alkalifeldspäte resp. Feldspatvertreter, Kalkfeldspat und tonerdefreie dunkle Gemengteile am Aufbau des Gesteins beteiligen. Ueber die Modifikationen der Zusammenfassung in den Fällen, in denen Alkali>Al_2O_3 oder Al_2O_3>Alkali+CaO ist, siehe die Originalarbeit.

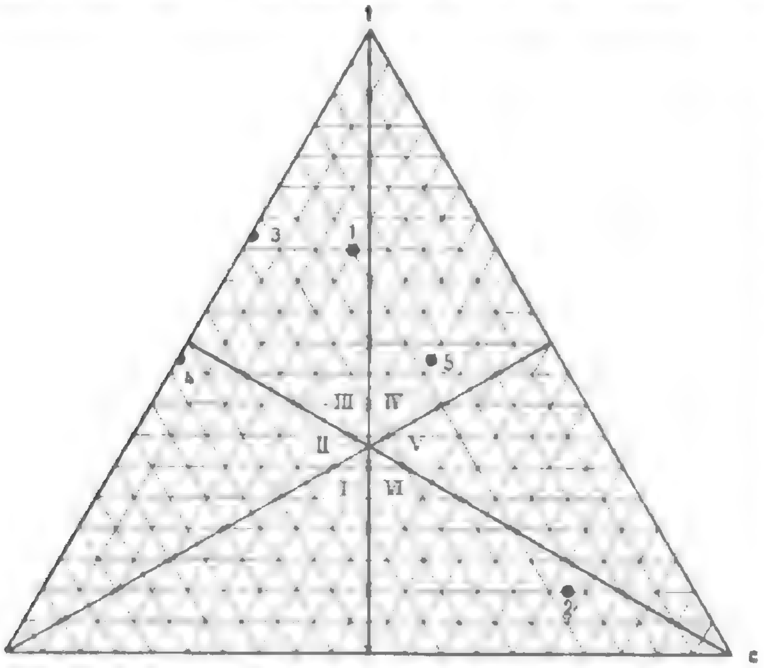


Fig. 6.

Da zur Aufstellung der Konstanten Molekularprozente benutzt werden, muß s+2A+2C+F=100 sein; demnach kommt es nicht auf die absoluten Werte A, C und F an (da ihre Summe bekannt ist), sondern nur auf ihr Verhältnis, das graphisch durch einen Positionspunkt in einer Dreiecksprojektion dargestellt werden kann. Zu dem Zweck werden die Zahlen A, C, F auf eine konstante Summe, z. B. 20 reduziert (a+c+f=20). Die Projektion beruht auf dem Satz, daß die Summe der Normalabstände eines Punktes innerhalb eines gleichseitigen Dreiecks von den Seiten gleich der Höhe des Dreiecks ist; wird also die letztere zu 20 Einheiten angenommen, so repräsentiert jeder Punkt im Dreieck durch seine Normalabstände ein bestimmtes acf-Verhältnis. Figur 6 ist eine solche Dreiecksprojektion, in die 5 Projektionspunkte eingezeichnet sind, die Eckpunkte sind mit a, c und f bezeichnet, jede Höhenlinie ist durch Parallele zu der ihr normalen Dreiecksseite in 20 Teile geteilt. Für den Punkt 5 verhalten sich nun beispielsweise die Normalabstände von cf, af und ac wie seine Werte a, c und f; diese Normalabstände sind bequem auf halbe Einheiten an den Seitenparallelen abzulesen (näheres über die Projektion siehe Lit. 2.). Die fünf Punkte repräsentieren Gesteine, deren s sehr nahezu gleich, deren acf aber, wie ihre Verteilung im Dreieck zeigt, sehr verschieden ist. 1 ist ein Norit von Montrose Point, N. Y., 2 ein Anorthosit aus den Laramie Hills, Col. 3 ein Granatpyroxenmalignit vom Poobah lake, Canada,

4 ein Nephelinsyenit aus Südportugal und 5 ein Gabbro von Torfhaus im Harz. Fügt man den Konstanten s, a, c und f ihre Werte als Indizes an, so sind die fünf Gesteine charakterisiert durch die Formeln:

1 $s_{60,5}\ a_4\ c_3\ f_{13}$
2 $s_{60}\ a_{3,5}\ c_{14,5}\ f_2$
3 $s_{57}\ a_{6,5}\ c_0\ f_{13,5}$
4 $s_{60,5}\ a_{10,5}\ c_0\ f_{9,5}$
5 $s_{60}\ a_{3,5}\ c_7\ f_{9,5}$.

3 und 4 sind typische Vertreter der Alkaligesteinsreihe, das Anorthitmolekül fehlt ihnen vollständig ($c=0$), 3 ist reich an dunklen Gemengteilen, 4 an Alkalifeldspäten und Nephelin. In 2 sind dunkle Gemengteile nur sehr spärlich, es besteht nahezu ganz aus Feldspäten, in denen das Anorthitmolekül prädominiert usf. So läßt sich aus der Lage des Projektionspunktes die quantitative mineralogische Zusammensetzung des Gesteins in großen Zügen ablesen. Für Punkte im Sextanten I ist $a>c>f$, in II $a>f>c$, in III $f>a>c$, in IV $f>c>a$, in V $c>f>a$ und VI $c>a>f$.

6. Die mittlere Zusammensetzung unserer Eruptivgesteine und des Urmagmas. Man hat versucht, sich ein Bild von der mittleren Zusammensetzung der Eruptivgesteine zu machen dadurch, daß man eine große Anzahl von zuverlässigen Analysen zu einem Mittelwert zusammengezogen hat und unter der Voraussetzung, daß die Nichtberücksichtigung der verschiedenen Masse, in der einzelne Gesteinsarten auftreten, durch die Anzahl der Analysen, die auf sie fällt, kompensiert wird. In der Tat ist zu erwarten, daß Gesteine, die an vielen Orten und in großer Masse auftreten, auch häufiger analysiert werden als andere. Der Erfolg hat diese Ansicht insofern bestätigt, als die von verschiedenen Autoren mit verschiedenem Analysenmaterial erhaltenen Mittel sehr nahezu übereinstimmen. Unter 32 der Tabelle sind die Werte angeführt, die Clarke (Lit. 5) aus 1530 Einzelanalysen von Eruptivgesteinen der Vereinigten Staaten Nordamerikas erhalten hat; sämtliche stammen aus dem Laboratorium der U. S. geol. survey. Diese Zahlen würden demnach ein Stammmagma repräsentieren, aus dem die uns bekannten Eruptivgesteine sich ableiten ließen.

Das hoh. spezifische Gewicht unseres Erdkörpers verglichen mit dem der Erdkruste läßt es zweifellos erscheinen, daß das hypothetische Urmagma jedenfalls reicher an Schwermetallen, wahrscheinlich wesentlich Eisen war, als das unter 32 angeführte Mittel. Näheres über seine Zusammensetzung läßt sich kaum angeben (vgl. auch den Artikel „Erde, chemischer Bestand der Erde").

Literatur. *1.* **H. Bäckström,** *Causes of magmatic differentiation. Journ. of Geology I, 1893. — 2.* **F. Becke,** *Die Eruptivgebiete des böhmischen Mittelgebirges und der amerikanischen Andes. Tschermaks Min. u. Petr. Mitteil. 22, 1903. — 3.* **W. C. Brögger,** *Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes III. Das Ganggefolge des Laurdalits. Videnskabsselskabets Skrifter Nr. 6, 1898. — 4.* **W. Cross, J. P. Iddings, L. V. Pirsson, H. S. Washington,** *Quantitative Classification of igneous rocks. Chicago 1903. — 5.* **F. W. Clarke,** *Analyses of rocks and minerals from the Laboratory of the U. S. geol. Survey. Bullet. 419, geol. Survey 1910. — 6.* **R. A. Daly,** *The differentiation of a Secondary Magma through gravitative Adjustement. Rosenbusch, Festschrift. Stuttgart 1906. — 7.* **Derselbe,** *Average chemical Compositions of Igneous-rock Types. Proceed. Amer. Acad. Arts a. Sciences 45, 1910. — 8.* **J. P. Iddings,** *The Origin of igneous Rocks. Bull. Phil. soc. of Washington 12, 1892. — 9.* **Derselbe,** *Chemical Composition of igneous rocks expressed by means of diagrams. Prof. Paper Nr. 18. U. S. geol. Surv. 1903. — 10.* **A. Michel Lévy,** *Memoire sur le Porphyre bleu de L'Esterel. Bullet. d. services d. l. carte geol. d. France IX, Nr. 57, 1897. — 11.* **Derselbe,** *Note sur la Classification des magmas des roches éruptives. Bull. soc. geol. d. France 25, 1897. — 12.* **F. Loewinson-Lessing,** *Studien über die Eruptivgesteine. Compte rendu Congrès Géol. Internat. 7me session St. Petersburg 1899. — 13.* **O. Mügge,** *Zur graphischen Darstellung der Zusammensetzung der ·Gesteine. Neues Jahrb. f. Mineral. 1900, I. — 14.* **A. Osann,** *Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine. Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitteil. Bd. 19, 1900; 20, 1901; 21, 1902; 22, 1903. — 15.* **H. Rosenbusch,** *Ueber die chemischen Beziehungen der Eruptivgesteine. Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitteil. 11, 1890. — 16.* **Derselbe,** *Ueber Struktur und Klassifikation der Eruptivgesteine. Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitteil. 12, S. 386, 1891. — 17.* **J. H. L. Vogt,** *Weitere Untersuchungen über die Ausscheidungen von Titaneisenerzen aus basischen Eruptivgesteinen. Zeitschr. f. prakt. Geol. 9, S. 327, 1901. — 18.* **Derselbe,** *Ueber anchieutektische und anchimonomineralische Eruptivgesteine. Norsk Geologisk Tidsskrift. I, Nr. 2, 1905.*

Größere Zusammenstellungen von Analysen finden sich in: 19. **J. Roth,** *Die Gesteinsanalysen in tabellarischer Uebersicht. Berlin 1861. — 20.* **Derselbe,** *Beiträge zur Petrographie der plutonischen Gesteine. Abhandl. Berliner Akad. 1869, 1873, 1879, 1884. — 21.* **F. W. Clarke,** *Analyses of rocks from the Laboratory of the U. S. Geol. Survey Bulletin 148, 1897; 168, 1900; 228, 1904; 419, 1910. — 22.* **H. S. Washington,** *Chemical Analyses of igneous rocks. Profess. Paper No. 14. U. S. Geol. Survey 1903. — 23.* **A. Osann,** *Beiträge zur chemischen Petrographie II. Stuttgart 1905.*

A. Osann.

Digitized by Google

Petrochemie der Sedimente.

1. Bildung der Sedimente. 2. Einteilung. 3. Chemische Zusammensetzung und Vergleich mit den Eruptiven. 4. Veränderung der Sedimente beim Altern. 5. Chemische Unterschiede. 6. Beziehungen zu den Metamorphen.

1. Bildung der Sedimente. Die Sedimente entstehen durch die Aufarbeitung der Eruptiven und die Wiederaufarbeitung von bereits gebildeten Sedimenten, darauf folgenden Absatz aus Luft oder Wasser. Der Weg, der bei der Aufarbeitung eingeschlagen wird, ist zweierlei Art: Einerseits erfolgt eine mechanische Zerkleinerung des Materials und andererseits vollziehen sich Lösungen und chemische Prozesse.

Die rein mechanischen Vorgänge geschehen langsamer oder schneller, je nach der größeren oder kleineren Widerstandsfähigkeit (Härte, chemische Zusammensetzung, mineralogischer Bestand, Struktur, Textur) des Gesteins und je nach der Länge des Transportes. Sie führen zu einer Art Auslese unter den Mineralien, derart, daß die weicheren, zersetzlicheren zuerst zerstört werden und die härtesten, schwerstlöslichen und -zersetzbaren zum Schlusse allein übrig bleiben. So kommt es, daß von allen wichtigen Mineralien der durch seine Härte, seine ganz geringe Spaltbarkeit und seine Schwerlöslichkeit ausgezeichnete Quarz nach längerem Transport allein übrig bleibt. Die Folge hiervon ist die weite Verbreitung sandiger Gesteine.

Bei den Lösungen und chemischen Umsetzungen spielen die Bestandteile der Luft, des Wassers und das Wasser selbst eine Rolle. Von der Luft an erster Stelle der Sauerstoff, der oxydierend wirkt und das in den Eruptiven zumeist als Oxydul vorhandene Eisen in Form von Oxyd zur Abscheidung bringt. Die Kohlensäure führt die Alkalien und Erdalkalien in lösliche Karbonate und Bikarbonate über, die vulkanischen und Industriegase bilden damit Chloride und Sulfate. Das Wasser wirkt einerseits lösend und schafft andererseits dem Temperaturgesetz folgend wasser- und hydroxylhaltige Verbindungen (Ton, Eisenhydroxyd).

Von den sieben, abgesehen vom Sauerstoff, wichtigsten Elementen (Si, Fe, Al, Mg, Ca, Na, K) verbleiben demnach drei in unlöslichem Rückstande und vier gehen im wesentlichen in Lösung (Mg, Ca, Na, K). Von den wichtigsten Mineralien der Silikatgesteine werden alle mit alleiniger Ausnahme des Quarzes mehr oder minder schnell zerstört. Es liefern aber dabei die Aluminiumsilikate, die ursprünglich mit Alkalien oder Erdalkalien verbunden sind, hydroxylhaltiges Aluminiumsilikat (Ton) und die Eisensilikate Eisenhydroxyd neben löslicher Kieselsäure. Diese letztere wird auch bei der Zersetzung der übrigen Silikate geliefert, und sie kann als Gel wieder niedergeschlagen werden. Auch die in stärkerem Maße gelösten Substanzen können zur Abscheidung gelangen, entweder dadurch, daß das Lösungsmittel entzogen wird (Salzlager), oder durch das Ausfällen mit Gelen (Mergel), oder durch das Entweichen halbgebundener Kohlensäure (Kalksteine z. T.), oder durch chemische Umsetzungen (Glaukonit, Kalkstein z. T., Dolomit), oder endlich durch Tiere und Pflanzen, die aus ihrem Blut und Saft Kieselsäuregel oder kohlensauren Kalk zur Abscheidung bringen (Radiolarienschlamm, Diatomeenerde und Kieselgur, Spongiensandsteine, Kalksteine z. T.). Endlich sei noch mit einem Worte gedacht der Ablagerung organischer Ueberreste von Tieren und Pflanzen, der Bitumina und Kohlen. Natürlich können auch verschiedene von diesen Bildungen gemischt sein und eine chemische Zusammensetzung zeigen, die einerseits zwischen Quarz- und Tongesteinen und andererseits zwischen diesen und Kalksteinen oder Dolomiten liegt.

2. Einteilung. Wenn man die eben berichteten Entstehungsbedingungen der Sedimente überschaut, so wird es deutlich, daß unter den mechanischen Sedimenten die Quarz- und Tongesteine herrschen müssen und zwar die letzteren weitaus, weil die Feldspäte und ihre Vertreter in den Eruptiven weitaus herrschen (60 %). Es ergibt sich ferner, daß diese Gesteine vielfach eisenschüssig, d. h. mit Eisenhydroxyd durchsetzt sein müssen, daß ausnahmsweise auch Ablagerungen von mehr oder minder reinem Eisenhydroxyd vorkommen können. Sind aber gleichzeitig organische Substanzen vorhanden bezw. zum Absatz gelangt, so findet eine Reduktion des Eisenoxyds statt und durch den bei der Zersetzung der organischen Materie entstehenden Schwefelwasserstoff kann Pyrit oder Markasit gebildet werden. In heißen Klimaten geht die Zersetzung der organischen Substanzen sehr schnell, und es bilden sich wasserärmere Eisenhydroxyde, die den Boden rot färben. Im kühleren Klima geht die genannte Zersetzung langsamer und es bilden sich danach wasserreichere Oxyde des Eisens, deshalb sind die Böden dort grau oder gelb und braun gefärbt.

Unter den Gesteinen, die aus den gelösten Bestandteilen der Eruptiven entstanden sind, müssen die wichtigste Rolle die Carbonate des Calciums und untergeordnet die des Magnesiums spielen. Daneben kommen Chloride und Sulfate in den Salzlagern und Bitumina und Kohlen vor. Endlich sind in ganz untergeordneter Menge Kieselgesteine und Silikate (Glaukonit) zu erwähnen.

Sieht man nun ab von den Salzlagern, von Kohle und Bitumen, die in besonderen Artikeln behandelt sind, so verbleiben für unsere Betrachtung eigentlich nur drei große

Digitized by Google

Gruppen von Sedimenten, die man einteilen kann in tonige, sandige und carbonatische Gesteine. Ueber das Mengenverhältnis dieser drei Gesteinsgruppen kann man natürlich beobachtungsweise nichts aussagen. Es ist aber verschiedentlich eine Schätzung oder Berechnung versucht worden. Clarke, der die neuesten und überzeugendsten Berechnungen gemacht hat, kommt zu dem Resultat, daß die genannten Sedimente zu 80 % aus Tongesteinen, zu 15 % aus Sandsteinen und zu 5 % aus Kalksteinen bestehen. Van Hise gibt dafür die entsprechenden Zahlen 65 %, 30 %, 5 %, und W. J. Mead 80 %, 11 %, 9 %. Es ist dies zwar für den Chemismus der Gesteine irrelevant, sollte aber doch nebenbei erwähnt werden, weil es zur Berechnung der durchschnittlichen Zusammensetzung der Sedimente im Vergleich mit den Eruptiven unerläßlich ist.

3. Chemische Zusammensetzung und Vergleich mit den Eruptiven. Aus sehr zahlreichen Analysen hat Clarke die mittlere Zusammensetzung der drei Gruppen wie folgt berechnet:

	Tongesteine %	Sandsteine %	Karbonatgesteine %
SiO_2	58,38	78,66	5,19
Al_2O_3	15,47	4,78	0,81
Fe_2O_3	4,03	1,08	0,54 (})
FeO	2,46	0,30	
MgO	2,45	1,17	7,90
CaO	3,12	5,52	42,61
Na_2O	1,31	0,45	0,05
K_2O	3,25	1,32	0,33
H_2O	5,02	1,64	0,77
TiO_2	0,65	0,25	0,06
CO_2	2,64	5,04	41,58

Andere weniger wichtige Elemente und Oxyde in unbedeutender Menge.

Daraus und aus dem Mengenverhältnis der drei Gesteinsgruppen ergibt sich nachstehende mittlere Zusammensetzung der Sedimente, der wir gleichzeitig die mittlere Zusammensetzung der Eruptiven, wie sie von Clarke u. a. ermittelt wurde, beifügen:

	A. Sedimente	B. Eruptive	Differenz B-A	Differenz in % v. B
SiO_2	58,76	59,93	+1,17	+ 1,9
Al_2O_3	13,13	14,97	+1,84	+12,3
Fe_2O_3	3,41	2,58	−0,83	−31,4
FeO	2,01	3,42	+1,41	+41,2
MgO	2,53	3,85	+1,32	+34,3
CaO	5,45	4,78	−0,67	−14,0
Na_2O	1,12	3,40	+2,28	+67,0
K_2O	4,60	2,99	−1,61	−53,8
H_2O	4,30	1,94	−2,36	−121,6
CO_2	4,80	0,84	−4,32	−900,1

Ehe wir uns mit den einzelnen Gesteinsgruppen befassen, wollen wir zunächst einen Blick auf die chemischen Beziehungen zwischen Sedimenten und Eruptiven werfen. Es ist klar, daß die Zusammensetzung beider gleich sein müßte, da ja letzten Endes alle Sedimente aus Eruptiven entstanden sind. Dies ist aber, wie die Zusammensetzung zeigt, nicht der Fall, auch dann nicht, wenn wir der obigen Zusammenstellung nur qualitativen Wert beimessen und alle Differenzen unter 15 % unberücksichtigt lassen, denn die großen über 30 % betragenden Ueberschüsse oder Mängel können nicht zufällig sein. Das Ueberhandnehmen der Kohlensäure in den Sedimenten erklärt sich ungezwungen aus der Tatsache, daß bei niedriger Temperatur diese Säure stärker ist als die Kieselsäure und somit alle Basen mit Ausnahme der schwachen Basen Tonerde und Eisenoxyd an sich reißt. Analog verhalten sich Salzsäure und Schwefelsäure, deren Salze man im Meerwasser wieder antrifft, die aber in den Sedimenten, abgesehen von den Salzlagern, keine Rolle spielen. Die Prävalenz des Wassers in den Sedimenten erklärt sich ungezwungen aus dem Temperaturgesetz. Die Vermehrung des Eisenoxyds und die entsprechende Verminderung des Oxyduls in den Sedimenten ist auf die Wirkung des Luftsauerstoffs zurückzuführen. Das, was an Alkalien fehlt, erscheint wieder in den Salzen des Meerwassers und der Salzlager. Am auffallendsten ist aber die starke Verschiebung des Verhältnisses von Kalium zu Natrium zugunsten des ersteren in den Sedimenten, wie sie sich ja auch in umgekehrter Weise in den Salzen des Meerwassers geltend macht. Auf die Ursache dieser Merkwürdigkeit wird im nächsten Abschnitt eingegangen werden.

4. Veränderung der Sedimente beim Altern. Wenn wir nun die oben erwähnten drei Sedimentgruppen im einzelnen betrachten, so kehren wir noch einmal zurück zu den geschilderten Entstehungsbedingungen. Daraus ergäbe sich für die aus dem Wasser gebildeten mechanischen Sedimente unter Voraussetzung ganz reinen und öfteren Wechsels des Wassers vollkommene Freiheit des Gesteins von Alkalien und Erdalkalien, die aber nicht eintritt, weil weder das Meer- noch das Flußwasser frei von Salzen ist. Die tonigen Substanzen sind nämlich z. T. in Form von Kolloiden vorhanden und mit ihnen vereinigen sich noch in der Wirkung gewisse organische Kolloide. Nach van Bemelen sind die amorphen Verwitterungssilikate kolloider Natur, sie bilden ebenso wie analoge künstliche Calcium-Aluminiumsilikate und wie die bei der Verwitterung entstehende kolloide Kieselsäure mit Salzen Adsorptionsverbindungen, koagu-

Digitized by Google

lieren damit und werden gefällt. Das Adsorptionsvermögen ist ein verschiedenes für verschiedene Gele und für verschiedene Salze, ist aber für nicht dissoziierte Salze meist sehr gering, kann hingegen groß sein für einzelne Ionen, sodaß sogar aus Salzen mit starken Säuren saure Salze entstehen. Die Verwitterungssilikate adsorbieren, abgesehen von $CaCO_3$, von nicht dissoziierten Salzen zumeist sehr wenig, dagegen wird das Kaliumion sehr stark, das Calciumion weniger und das Natriumion am wenigsten aufgenommen. Adsorbiertes Natrium und Calcium kann leicht durch Kalium ersetzt werden, während das Umgekehrte nur sehr schwer, nach anderen Forschern gar nicht geht. Das Kieselsäuregel adsorbiert Calcium stärker als Kalium. Aus diesen Betrachtungen resultiert, daß Verwitterungssilikate, auch wenn sie aus Süßwasser sedimentiert sind, niemals frei von Alkalien und Erdalkalien sein können, noch weniger aber, wenn sich die Sedimentation aus Meerwasser vollzogen hat. Luft- oder Gletschersedimente sind selbstverständlich, soweit sie silikatischer Natur sind, mehr oder weniger reich daran. Da nun aber im Laufe der Zeit alle Sedimente infolge der wechselnden Verteilung von Land und Meer vom Meerwasser durchtränkt werden, so verschwinden die Unterschiede im Gehalt an Alkalien und Erdalkalien auch mehr oder weniger, und es erklärt sich auch das fast durchgehende Vorwiegen des Kaliums gegenüber dem Natrium in den tonigen Sedimenten. Das Vorhandensein von Alkali in den sandigen und carbonatischen Gesteinen ist ebenfalls auf die Gegenwart toniger Bestandteile zurückzuführen.

Wenn nun trotzdem noch ein Unterschied zwischen rezenten und fossilen Sedimenten erscheint, so hat dies seinen Grund in den Vorgängen beim Altern, bei der Fossilisation, auf die wir jetzt mit wenigen Sätzen eingehen: Wir unterscheiden hierbei zweierlei Vorgänge, die sich einerseits vollziehen ohne äußeren Anstoß, oder andererseits in der Zu- oder Wegführung von Substanz ihre Ursache haben. Zu den ersteren Vorgängen gehört z. B. die langsame Oxydation der organischen Substanzen und nachher folgende Oxydation des Eisens. Sie vollzieht sich in tonigen Sedimenten, besonders wenn keine starken Elektrolyte vorhanden sind, wegen der dichten Beschaffenheit sehr langsam, viel schneller in porösen Gesteinen, wie Sandsteinen oder porösen Kalksteinen. Die ursprünglich graue Färbung geht dadurch in braunrot, braun und gelb über. Ein anderer hierher gehöriger Vorgang ist der Uebergang der Adsorptionsverbindungen in Kristalloide oder des Kieselsäuregels in Quarz, worauf wohl zum Teil die Erhärtung der Sedimente beruht. Endlich ist hierher zu stellen die Umlagerung metastabiler Phasen, z. B. des kohlensauren Kalkes, in stabile (Kalkspat), wodurch ebenfalls eine Erhärtung dieser Sedimente eintreten kann. Zu den Vorgängen zweiter Art gehören die Auslaugungen bestimmter Stoffe und andererseits ihre Infiltration z. B. die Auslaugung von Erdalkalien und Eisen. Das erstere geschieht vorzüglich unter dem Einfluß kohlensäurehaltiger Wässer, das letztere, wenn zugleich reduzierende Stoffe zugegen sind. Ferner gehören hierher die Infiltrationen z. B. von Karbonaten, Eisenhydroxyd und Kieselsäuregel in lockere Gesteine (Sandsteine), auch die weitere Adsorption von Kali oder Kalk seitens der tonigen Sedimente. Endlich sind hierher zu rechnen die Vorgänge, bei denen Auslaugung und Infiltration zugleich stattfindet, die man gemeinhin als Diagenese bezeichnet. Solche diagenetische Prozesse sind u. a. die Dolomitisierung und Sideritisierung kalkiger Sedimente, der Austausch von Kali gegen Kalk in tonigen Gesteinen, auch die Oxydation der Eisensulfide und die damit Hand in Hand gehende Bildung von Alaun, Laterit und Bauxit.

5. **Chemische Unterschiede.** Wenn wir nun das Gesagte auf den Chemismus der Sedimente anwenden und noch einmal alles zusammenfassen, was wichtig erscheint, so ergibt sich folgendes: 1. Die mechanischen Sedimente haben, soweit sie Verwitterungssilikate enthalten, einen Gehalt an Alkalien, unter denen das Kali in der Vormacht ist, deren Summe in Molekularprozenten aber stets wesentlich hinter der Tonerde zurückbleibt. 2. Soweit diese Gesteine noch unzersetztes Eruptivmaterial enthalten (Schotter, Breccien, Arkosen) oder ganz daraus bestehen (Tuffe, Tiefseesedimente), braucht weder das Kali in der Vormacht, noch die molekularprozentische Menge der Tonerde größer zu sein als die der Alkalien. 3. Der Gehalt aller Sedimente an Alkali hängt von der Menge der gegenwärtigen feldspatigen Eruptivsilikate oder der daraus entstandenen Verwitterungssilikate ab. 4. In allen Sedimenten — abgesehen von sideritischen Ablagerungen — herrscht das Eisenoxyd gegenüber dem Oxydul vor. 5. Quarzreiche Sedimente (Sardsteine, kieselige organogene Ablagerungen) sind verhältnismäßig arm an Verwitterungssilikaten und damit auch an Alkali. 6. Mit der Menge der Verwitterungssilikate steht gewöhnlich die Menge des Wassers, mit der Menge des Kalks, der Magnesia und manchmal auch des Eisenoxyduls die Menge der Kohlensäure in geradem Verhältnis. 7. Die reinen Verwitterungssilikate haben fast alle einen Tonerdeüberschuß, d. h. die molekularprozentische Summe von Alkali und Kalk ist kleiner als die Menge der Tonerde.

Digitized by Google

6. Beziehungen zu den Metamorphen. Das letzte, womit wir uns zu beschäftigen haben und was bei dem gegenwärtigen Zustand der Forschung das Wichtigste ist, ist der Vergleich der Sedimente mit den Eruptiven in Hinsicht auf die Metamorphose. Die metamorphen Gesteine sind entstanden entweder aus Eruptiven oder aus Sedimenten, und es ist natürlich von Wichtigkeit zu zeigen, ob und daß man beiderlei Gesteinsarten voneinander unterscheiden kann. Einen solchen Versuch hat, von den kristallinen Schiefern selbst ausgehend, Becke gemacht, indem er den chemischen Bestand eines Gesteins in drei Gruppen zusammenfaßte: I. SiO_2, II. $CaO + K_2O + Na_2O = L$ (Lösliches), III. $Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MgO = U$ (Unlösliches), natürlich alles in Molekularprozenten. Man bringt dann die Gesamtsumme auf 20 und projiziert die Analysen der Gesteine in ein gleichseitiges Dreieck, dessen Eckpunkte durch Si, L und U bezeichnet werden (siehe die Fig. auf S. 616). Hierbei zeigt sich dann, daß die Eruptiven und die als eruptiven Ursprungs angesehenen Metamorphen in einen auf der Figur gestrichelt umgrenzten Raum fallen, während Gesteine vermutlich oder sicher sedimentären Ursprungs außerhalb dieses Raumes zu liegen kommen.

Einen anderen Versuch hat, von den Sedimenten selbst ausgehend, Linck gemacht, indem er die Analysen zahlreicher Sedimente mit denen zahlreicher Eruptiven verglich. Bei solchem Vergleich kann man im Voraus ausschalten die rein oder fast rein kieseligen und karbonatischen Sedimente, denn wenn sie metamorphisch werden, kann ein Zweifel über ihre Abstammung nicht entstehen. Man kann aber auch noch unberücksichtigt lassen die ganz vorwiegend kieseligen oder karbonatischen Sedimente, denn die ersteren unterscheidet die außerordentlich geringe Menge Tonerde neben der hohen Kieselsäuremenge, und die letzteren die auffallend große Menge an Kalk oder Magnesia neben einer erheblichen Tonerdemenge leicht von den Eruptiven. Es verbleiben somit für den Vergleich nur die rein oder vorherrschend tonigen Sedimente, die in ihrem chemischen Bestand tatsächlich mit den Eruptiven nicht selten eine gewisse Aehnlichkeit besitzen und ihnen somit durch Metamorphose auch mineralogisch ähnlich werden können. Vergleicht man nun unter Außerachtlassung von CO_2 und H_2O die eben genannten Sedimente mit den Eruptiven, so ergeben sich folgende Unterschiede, von denen nicht immer alle, aber stets mehrere das Sediment von dem Eruptivgestein unterscheiden:

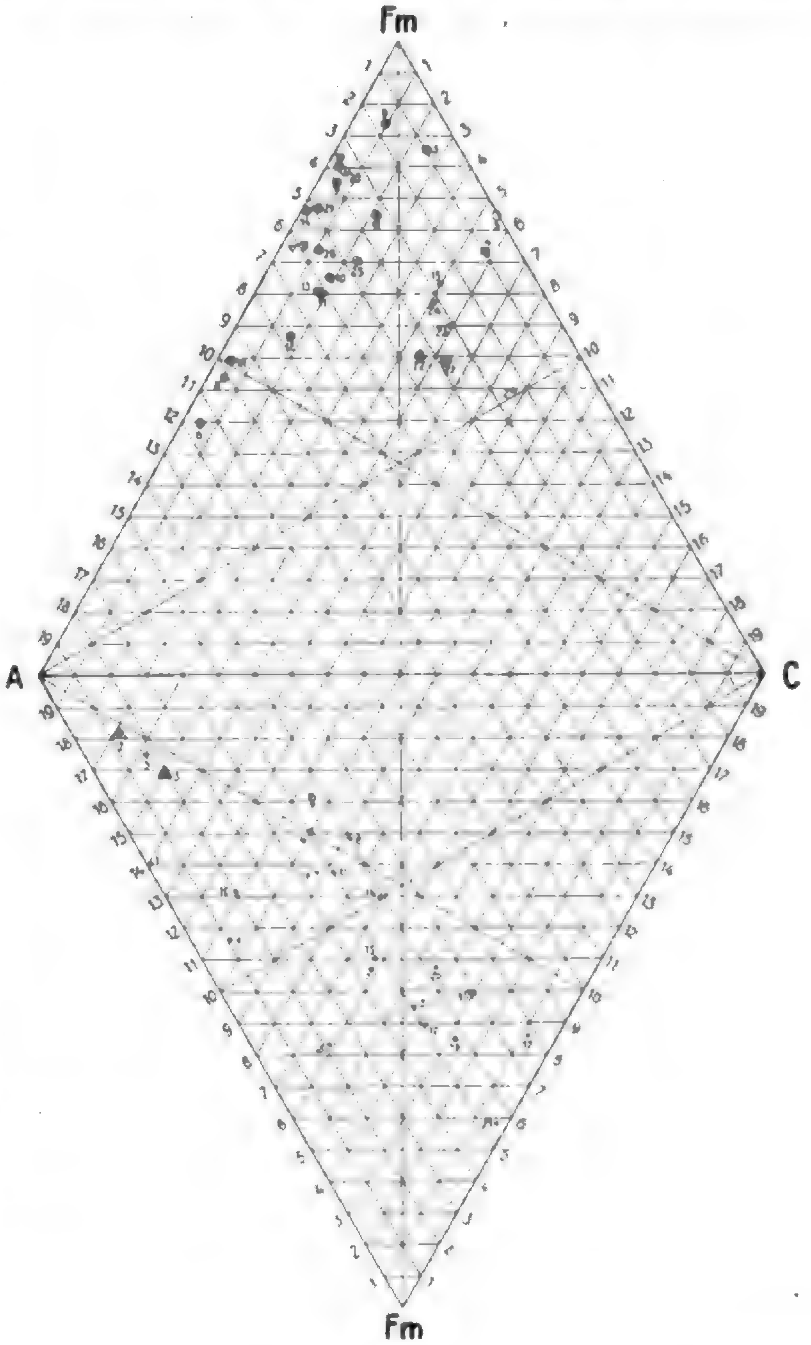


Fig. 1.

In den tonigen Sedimenten ist in weitaus

Digitized by Google

den meisten Fällen der Gehalt an Kali größer als an Natron. Bei diesen Gesteinen mit Kalivormacht ist aber zugleich zumeist der Tonerdegehalt größer als die doppelte Menge des Alkalis, oder es ist die Tonerdemenge größer (um mehr als 5%) als die Summe von Alkali mehr Kalk. Bei den Eruptiven mit Kalivormacht, die an sich nicht zahlreich sind, gibt es ganz wenige, bei denen der Tonerdegehalt größer ist als die doppelte Menge des Alkalis und bei keinem von diesen ist mehr Tonerde vorhanden als der Summe von Alkali und Kalk entspricht. Bei diesen Verhältnissen sind natürlich überall die Molekularprozente in Rechnung zu setzen. Bei den in recht geringer Anzahl vorkommenden tonigen Sedimenten mit Natronvormacht hat man mit verschwindenden Ausnahmen einen Ueberschuß von Tonerde über die Summe der Alkalien und des Kalkes. So verbleiben nur noch ganz wenige, die man teils als sandige Eisensteine, teils als sandige Kalke bezeichnen muß und die man entweder an dem exorbitant hohen Eisen- oder Kalkgehalt als Sedimente erkennt, neben einigen, die tuffogener Natur und daher von Eruptiven nicht zu unterscheiden sind.

Unter Berücksichtigung dieser unterscheidenden Merkmale läßt sich eine Projektionsweise finden, die wirklich die Sedimente von den Eruptiven ganz reinlich scheidet. Man legt zu diesem Zweck zwei gleichseitige Dreiecke mit einer Seite aneinander (Fig. 1) und bezeichnet die eine der sich berührenden Ecken mit A (Alkalien), die andere mit C (Kalk), die dritte freie Ecke mit Fm (Eisen + Magnesia). Die Analysen werden so berechnet, daß Kohlensäure und Wasser, die bei der Metamorphose eventuell ganz verschwinden, unberücksichtigt bleiben und der ganze Eisengehalt auf Oxydul umgerechnet wird. Dann werden die Molekularproportionen und daraus die Molekularprozente errechnet. Die Summe der Alkalien stellt alsdann den Wert A dar, die Prozente des Kalks den Wert C und die Summe von Eisenoxydul und Magnesia den Wert Fm. Der bequemeren Rechnungsweise halber kann man $A + C + Fm = 20$ setzen, und dann leicht für jede Analyse den Ort innerhalb der Dreiecke finden. In das oben liegende Dreieck werden alle Orte der Analysen eingetragen, in denen Kalivormacht und die doppelte Summe der Alkalien gleich oder kleiner ist als die Menge der Tonerde, ferner diejenigen mit Kalivormacht, bei denen zwar die doppelte Summe der Alkalien größer ist als die Tonerdemenge, aber die letztere größer als die Summe der Alkalien und des Kalkes. Von den Analysen mit Natronvormacht kommen nur die in das oben liegende Dreieck, bei denen die Tonerdemenge wesentlich (mindestens 5%) größer ist als die Summe von Alkalien und Kalk. Auf solche Weise fallen die Analysen der reinen und frischen Eruptivgesteine ausnahmslos in das unten liegende, die der Sedimente mit Ausnahme der tuffogenen in das oben liegende Dreieck. Bezeichnet man dann noch allgemein Gesteine mit Kalivormacht durch Punkte, solche mit Natronvormacht durch Kreuze und deutet den Tonerdeüberschuß durch einen Ring oder Dreieck an, so kann man auch für die Metamorphose vieles Wünschenswerte aus der Darstellung ablesen.

Gesteine mit Kalivormacht sind in der Figur durch Punkte, solche mit Natronvormacht durch Kreuze bezeichnet. Ein Tonerdeüberschuß ist bei den Sedimenten durch einen Ring um den Punkt oder das Kreuz, bei den Eruptiven durch ein Dreieck kenntlich gemacht. Alkalifreie Gesteine (5) haben weder ein Kreuz noch einen Punkt.

In dem oberen Dreieck befinden sich nur Sedimente, im unteren, ausgenommen die Analyse 1 (Kreuz mit Ring) nur Eruptive. Dieses einzige hier liegende Sediment ist ein (tuffogener) Tiefseeton. Analyse 3 der Eruptiven hat nur einen 2% von Al_2O_3 betragenden Tonerdeüberschuß, hingegen ist er bei Analyse 2 17,7%, aber bei diesem Gestein ist 2 $(K_2O + Na_2O)$ wesentlich größer als Tonerde (13,8 : 9,1) und die Analyse steht deshalb im unteren Dreieck.

Die Analysen der Eruptiven sind wahllos aus der Zusammenstellung von Osann entnommen. Sie gehören alle den Tiefengesteinen an und tragen bei Osann die Nummern 1, 11, 21, 31 usw. (je 10 mehr).

Die Analysen der Sedimente sind alle der Zusammenstellung von Clarke entnommen und nur insofern ausgewählt als einige Analysen mit Natronvormacht gesucht wurden, sonst sind sie ganz willkürlich zusammengestellt. Analyse 1 ist Tiefseeton, 2 terrestrischer mariner Ton, 3 und 4 Tone aus Kalksteinen, 6 Kaolin, 5 und 7 bis 13 sonstige Tone (12 ein Glazialton), 14 bis 27 Tonschiefer und Schiefertone.

Literatur. **A. Osann**, *Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine, Tschermaks mineralog. und petrogr. Mitt.* **19**, *1900, S. 351;* **20**, *1901, S. 399;* **21**, *1902, S. 365.* — **F. Becke**, *Verh. der Ges. deutscher Naturforscher und Aerzte. 81. Vers. zu Salzburg, 2 Tl., 1909.* — **F. W. Clarke**, *The Data of Geochemistry, 2. Aufl., 1911. U. S. Geological Survey, Bull. 491.* — **Derselbe**, *Analyses of rocks and Minerals, ebenda, Bull. 419, 1910.* — **G. Linck**, *Ueber den Chemismus der Sedimente.*

G. Linck.

Digitized by Google

Petrochemie der metamorphen Gesteine.

1. Einleitung. Metamorphe Gesteine, welche chemisch mit primären Gesteinen übereinstimmen (1. Abteilung). Metamorphe Gesteine mit selbständigem Chemismus (2. Abteilung). 2. Allgemeines über die metamorphen Gesteine der 1. Abteilung. 3. Chemischer Gehalt der einzelnen Gesteinsgruppen der 1. Abteilung: a) Gneise. b) Granulite. c) Glimmerschiefer. d) Phyllite. e) Tonschieferhornfelse. f) Hornblendegarbenschiefer. g) Floitite. h) Amphibolite. i) Eklogite. k) Grünschiefer. l) Glaukophanite. m) Olivinfelse. n) Hornblendeschiefer. o) Serpentin. p) Chloritschiefer. q) Talkschiefer. r) Strahlsteinschiefer und Nephrite. s) Jadëitite. t) Kalksilikatschiefer. u) Eisenglimmerschiefer. v) Magnetitgesteine. w) Smirgel. 4. Chemische Klassifikation. 5. Projektionsmethoden. 6. Allgemeines über die metamorphen Gesteine der 2. Abteilung: a) Gesteine des pneumatolytischen Kontaktes: α) Exomorpher pneumatolytischer Kontakt. β) Endomorpher pneumatolytischer Kontakt.: b) Gesteine der Injektionsmetamorphose. c) Gesteine der Einschmelzmetamorphose.

1. Einleitung. Eine systematisch betriebene Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der metamorphen Gesteine und der chemischen Veränderungen, welche während der Metamorphose geschehen, besitzen wir erst in ihren Anfängen. Noch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts waren wohl einzelne Analysen von kristallinen Schiefern und Kontaktgesteinen vorhanden, die aber nur die Grundlage für einzelne und zusammenhangslose Erkenntnisse liefern konnten. Es ist hauptsächlich das Verdienst von H. Rosenbusch, die grundlegende Bedeutung des Chemismus für die Erkenntnis der metamorphen Gesteine hervorgehoben zu haben, indem er an Hand sorgfältig gesammelter Analysen nachwies, daß viele Gruppen kristalliner Schiefer und Kontaktgesteine ihre chemischen Aequivalente unter den Sedimenten und Eruptivgesteinen besitzen und darum von diesen abgeleitet werden müssen. Danach galt es der petrographischen Forschung eine Zeitlang beinahe als feststehend, daß die Metamorphose keinerlei Veränderungen im Chemismus der Gesteine veranlasse. Diese Ansicht wurde noch dadurch gestützt, daß auch für jene Gesteinsgruppen, deren metamorphe Aequivalente noch gefehlt hatten, dieselben nach und nach gefunden wurden. Es gilt dies besonders für die Eruptivgesteine der Alkalireihe. Heute läßt sich mit Sicherheit sagen, daß allen Massengesteinen, allen klastischen Sedimenten und vielen chemischen Sedimenten bestimmte Arten metamorpher Gesteine nach ihrem chemischen Inhalt entsprechen. Nur die leicht löslichen Glieder der Salzlagerstätten fehlen unter den eigentlichen metamorphen Gesteinen. Hand in Hand mit dieser Verbreiterung der Erkenntnis ging aber die Einsicht, daß die Erhaltung des Chemismus bei der Gesteinsumwandlung keine absolute sei. Wenn auch die chemischen Hauptcharaktere der Ausgangsgesteine im allgemeinen bewahrt werden, so können doch in einzelnen Fällen und unter gewissen Umständen die Abweichungen bis an die Grenze ihrer Verwischung gehen. Ferner wurde erkannt, daß allerdings fast alle primären Gesteine chemische Aequivalente unter den metamorphen besitzen, daß aber nicht umgekehrt alle metamorphen Gesteine im Chemismus mit bestimmten Sedimenten oder Eruptivgesteinen übereinstimmen. Aus diesem Gesichtspunkt lassen sich die metamorphen Gesteine für eine chemisch-genetische Betrachtung in zwei große Abteilungen bringen: 1. Metamorphe Gesteine, welche in ihrem Chemismus wenigstens in den Hauptzügen mit den primären Gesteinen übereinstimmen; 2. metamorphe Gesteine mit selbständigem Chemismus. In die erste Abteilung fallen die eigentlichen kristallinen Schiefer (dynamometamorphe und regionalmetamorphe Gesteine) und die gewöhnlichen Kontaktgesteine, in die zweite die Gesteine des pneumatolytischen Kontaktes und im Prinzip die der Injektions- und Einschmelzmetamorphose.

2. Allgemeines über die metamorphen Gesteine der ersten Abteilung. Das sich umwandelnde Gestein ist ein chemisches System (Lösung mit viel Bodenkörper), dessen chemischer Inhalt im wesentlichen durch den stofflichen Bestand des Ausgangsgesteins gegeben ist. Die Umsetzungen geschehen mittels Lösungsmittels oder die Substanzen treten bei hohen Temperaturen ohne solches in Reaktion. Bei gegebenen Temperaturen und Drucken muß sich ein ganz bestimmter Mineralbestand entwickeln, der, genügende Kenntnisse vorausgesetzt, vorausgesagt werden könnte. Er ist unabhängig vom Mineralbestand des Ausgangsgesteins, abhängig nur von dessen Gesamtchemismus, welcher auch die Paragenesis der sich neubildenden Mineralgesellschaft bedingt. Das Fundamentalgesetz für die Umwandlung ist die Phasenregel unter Berücksichtigung der Wärmetönungen und Volumenveränderungen der Umwandlungsprozesse. Die Metamorphose ist vollendet, wenn alle Gesteinskomponenten bei den gegebenen physikalischen Bedingungen stabil nebeneinander existieren können (vgl. den Artikel „Mineral- und Gesteinsbildung auf dem Wege der Metamorphose"). Aus diesen allgemeinen Verhältnissen erklärt sich die Erhaltung des Chemismus

Digitized by Google

der Ausgangsgesteine in der metamorphen Derivaten.

Abweichungen werden veranlaßt durch das Lösungsmittel. Dasselbe ist die Bergfeuchtigkeit und das bei der Verfestigung der Magmen freiwerdende Wasser in Dampfform, gleichviel, ob es ursprünglich im Schmelzfluß vorhanden war oder von demselben aufgenommen worden ist. Wasser tritt bei der Umkristallisation der Gesteine sehr oft in die Neubildungen ein; bei der Umwandlung von Olivin in Serpentin z. B. werden etwa 14 Prozent Wasser aufgenommen. Andererseits kann auch das sich metamorphosierende Gestein Wasser verlieren, wenn die physikalischen Verhältnisse bei der Metamorphose so beschaffen sind, daß reichlich wasserhaltige Komponenten nicht entstehen können, wie bei der Gneisbildung aus Tongesteinen. Das zutretende Lösungsmittel ist wohl nirgends reines Wasser; es führt stets andere Substanzen gelöst mit, am häufigsten CO_2, O, Alkalisilikate und Karbonate, und wenn es aus Magmen stammt, Fl, Cl, B. Da fast alle Mineralien schwach wasserlöslich sind, kann der gelöste Inhalt der zirkulierenden Bergfeuchtigkeit ein sehr mannigfaltiger sein, je nach den Gesteinen, die durchflossen wurden. Diese Stoffe können unter günstigen Bedingungen in die Reaktionen eintreten und zugleich kann durch das abfließende Lösungsmittel Abfuhr von Substanz stattfinden. Beides geschieht aber erfahrungsgemäß nur in so beschränktem Maße, daß der allgemeine chemische Charakter des Ausgangsgesteins erhalten bleibt.

Es ergeben sich daraus die folgenden allgemeinen Gesetzmäßigkeiten:

1. Die chemischen Veränderungen bei der Metamorphose betsehen im allgemeinen in einer Anreicherung der schwerer löslichen Substanzen, hervorgebracht durch eine Wegführung der leichter löslichen. Diese ihrerseits können durch andere Stoffe, welche durch das Lösungsmittel zugeführt wurden, ersetzt werden.

2. Die chemischen Veränderungen nehmen im großen und ganzen mit der Zunahme der Tiefenstufe ab, in welcher die Metamorphose stattfand. Denn in den oberen Teilen der Erdrinde können sich weitere und länger anhaltende Oeffnungen bilden, die Zirkulation ist intensiver, fremde Stoffe können von größeren Entfernungen hergebracht werden. In größerer Tiefe der Erdrinde findet der chemische Umsatz mehr durch Diffusion statt oder bei den herrschenden höheren Temperaturen kann auch Umsetzung im festen Zustand eintreten. In beiden Fällen bleibt der Stoffaustausch ganz auf den sich metamorphosierenden Gesteinskörper beschränkt.

Die Gesetze der Stoffzu- und -abfuhr sind für die einzelnen Gesteine noch sehr wenig festgestellt. Im allgemeinen scheint sich manches Analoge mit den chemischen Veränderungen bei der Verwitterung zu ergeben. Am häufigsten wurde eine Abnahme an Alkalien und Kalk beobachtet; SiO_2, MgO und Eisenoxyde bleiben oft konstant, die Tonerde reichert sich relativ an. Auf das einzelne soll bei der Behandlung der verschiedenen Gesteinsgruppen eingegangen werden.

3. Chemischer Gehalt der einzelnen Gesteinsgruppen der 1. Abteilung. 3a) Gneise. Die chemische Zusammensetzung der unter dem Namen Gneis zusammengefaßten Gesteine differiert sehr weitgehend und dazu ist deren Bezeichnungsrayon durchaus nicht übereinstimmend fixiert. Im allgemeinen werden die Orthogneise von granitischen, syenitischen und dioritischen Massengesteinen abgeleitet, die Paragneise von tonigen, mergeligen oder psammitischen Sedimenten. Bei den Orthogneisen ist die Uebereinstimmung der abgeleiteten Gesteine mit den primären gewöhnlich eine sehr große, dennoch ergeben sich bestimmte Abweichungen, die weniger in den absoluten Werten der Analysenzahlen, als in den Verhältnissen der einzelnen Oxyde zueinander sichtbar werden. In den Graniten und Syeniten ist der Quotient $\frac{K_2O + Na_2O + CaO}{Al_2O_3}$ in der Regel ungefähr $= 1$ (alle Oxyde in Molekularprozenten ausgedrückt), bei den davon abgeleiteten Gneisen ist er fast durchgehend <1. Da in den häufigsten gesteinsbildenden Mineralien auf ein Molekül Alkali oder Kalk ein Molekül Tonerde trifft, sagt man, die Gneise besitzen einen Tonerdeüberschuß, und nimmt an, daß bei der Umwandlung ein Teil der Alkalien und des Kalkes fortgeführt würde. Dieser Verlust ergibt sich auch quantitativ aus den Umwandlungsgleichungen, durch welche z. B. die Muskovitisierung des Orthoklas, die Entstehung von Sillimanit aus den verschiedenen Feldspäten und andere Mineralübergänge dargestellt werden können. Bei den Gneisen dioritischer Herkunft fehlt meist der Tonerdeüberschuß. Gewiß treten auch bei ihrer Metamorphose die gleichen Verluste ein, aber es ist bei den Dioriten ein ursprüngliches Plus an Alkali + Kalk über die Tonerde vorhanden, das auf Rechnung ihres größeren Kalkreichtums kommt, wodurch das Zustandekommen eines Tonerdeüberschusses verhindert wird. Man hat oft die Beobachtung gemacht, daß sich bei der Metamorphose nicht nur die Kalifeldspäte, sondern auch die Kalknatronfeldspäte der Plagioklasgesteine sericitisieren, also in Kaliglimmer übergehen. Dies mag

Digitized by Google

zum Teil durch die ursprüngliche Beimengung des Orthoklasmoleküls in den Plagioklasen erklärt werden, in vielen Fällen jedoch wird anzunehmen sein, daß bei der Ummineralisierung zugleich eine Ersetzung von Ca und Na durch K stattfindet, wie sie von Lemberg und später von Dietrich für manche Substanzen experimentell erwiesen wurde.

Unter den Sedimentgneisen nehmen diejenigen von pelitischem Chemismus den breitesten Raum ein. Von ihren tonigen Ausgangsgesteinen unterscheiden sie sich nur durch ihren geringen Wassergehalt und die meist eintretende Reduktion eines Teils des Eisenoxyds zu Oxydul. Mit Ausnahme der Konglomeratgneise, deren chemische Zusammensetzung infolge der oft verschiedenartigen Natur der Gerölle stark variiert, besitzen diese Sedimentgneise wider Erwarten viel Uebereinstimmendes und Gesetzmäßiges in ihrem Chemismus. Die Kieselsäure schwankt zwar in weiten Grenzen; aber allen hierher gehörigen Gneisen ist gemeinsam ein beträchtlicher Tonerdeüberschuß, welcher durch die geringe Alkalimenge und das Zurücktreten des Kalkes bis zum Verschwinden hervorgebracht wird. Dabei überwiegt in der Regel K_2O das Natron, und MgO sowie die Eisenoxyde sind fast stets größer als CaO. Diese Merkmale unterscheiden die pelitischen Sedimentgneise zugleich von den Gneisen eruptiver Herkunft, wobei noch hinzuzufügen ist, daß das Verhältnis von MgO+FeO respektive Fe_2O_3 zu SiO_2 sehr oft zugunsten der Basen ein solches ist, wie es bei Eruptivgesteinen im allgemeinen nicht gefunden wird. Immerhin muß erwähnt werden, daß in einzelnen Fällen, z. B. bei umgewandelten Arkosen, die chemischen Merkmale nicht ausreichen, um festzustellen, ob ein Gneis sedimentärer oder eruptiver Herkunft vorliegt. Die Psammitgneise (ebenso wie die Sericitquarzite und andere quarzitische Gesteine) sind charakterisiert durch ein Ueberwuchern der Kieselsäure, die bis über 90% ansteigen kann. Die Mengenverhältnisse der übrigen Oxyde wechseln stark, wiederholen aber am häufigsten die Gesetzmäßigkeiten der Pelitgneise, weil in den meisten Fällen das Ausgangsgestein ein toniges Bindemittel besitzt. Die von kalkigen Mergeln derivierenden Kalksilikatgneise (meist Plagioklas-Pyroxengneise) nähern sich chemisch manchmal stark den Dioritgneisen. Doch sind sie im allgemeinen kalkreicher und die übrigen Oxyde, besonders SiO_2, Al_2O_3, MgO, FeO und Fe_2O_3 wechseln stärker, während Alkali zurücktritt. Neben der Kieselsäure kann auch reichlich Kohlensäure vorhanden sein.

3b) Granulite. Die in der Gesteinslehre noch mehrfach von den Gneisen abgetrennte Gruppe der Granulite besitzt zum Teil die chemische Zusammensetzung saurer granitischer, zum Teil die psammitischer Gneise. Von besonderem Interesse ist der Chemismus der sächsischen Korund-, Prismatin- und Pyroxengranulite. Er stimmt in den Hauptzügen mit dem von Massengesteinen aus der Charnokit-Anorthositreihe überein, nur ist in den beiden erstgenannten Varietäten ein auffallend großer Tonerdeüberschuß vorhanden.

3c) Glimmerschiefer, d) Phyllite, e) Hornfelse. Die Gruppe der Glimmerschiefer, als Derivate von Tongesteinen, gleicht chemisch vollkommen derjenigen der Pelitgneise, und das gleiche gilt von den meisten echten Phylliten und den Andalusit-, Cordierit- und Glimmerhornfelsen. Bemerkenswerte Abweichungen vom allgemeinen Typus liefern die seltenen Paragonitschiefer, die Sericitglaukophanschiefer, und manche albitführende Phyllite. Sie stimmen zwar in allen anderen wesentlichen Merkmalen mit den Gesteinen toniger Abstammung überein, sind aber im Gegensatz zu diesen alkalireich und dazu von ausgesprochener Natronvormacht. Lacroix und andere nehmen für solche Gesteine eine Zufuhr von Natrondämpfen von magmatischen Herden her an, die vor oder während der Metamorphose eingetreten sein kann. Innerhalb der westalpinen Komplexe metamorpher Gesteine sind solche Natronprovinzen recht verbreitet.

3f) Hornblendegarbenschiefer. Es lassen sich zu solchen Natronprovinzen auch manche der schönen Hornblendegarbenschiefer oder „Federamphibolite" rechnen, welche mineralogisch durch Uebergänge mit den Glimmerschiefern verbunden sind und sich chemisch von ihnen nur durch den Eintritt größerer Kalkmengen unterscheiden, womit eine Verringerung des Tonerdeüberschusses Hand in Hand geht. Ihre Ausgangsgesteine sind Mergel, ihr Natrongehalt scheint zugeführt zu sein. Für eine gewisse kontaktliche Einwirkung dürfte auch die Bildung der Hornblendegarben sprechen, bei gewöhnlicher Metamorphose toniger Gesteine geht der Kalkgehalt in Epidot ein.

3g) Floitite. Mehr durch ihre äußere Erscheinung und durch ihren Glimmerreichtum als durch ihren übrigen mineralischen und ihren chemischen Gehalt schließen sich die Floitite an die Glimmerschiefer an. Sie bestehen neben Biotit, der die anderen Gemengteile oft weit überwiegt, aus saurem Plagioklas, Epidot und gelegentlich Hornblende oder Quarz. Chemisch entsprechen sie am meisten basischen Gängen, zum Teil auch Mg-reichen Mergeln.

3h) Amphibolite. Von bemerkenswert einheitlichem Chemismus bei stark wech-

Digitized by Google

selndem Mineralbestand ist die Gruppe der Amphibolite (Hornblende + Plagioklas oder Granat oder Zoisit oder Epidot oder Skapolith oder Quarz). Ihr Großteil stimmt mit Gesteinen der Gabbroreihe überein, nur ist ein kleines Minus an Kalk und Alkalien, ein kleines Plus an MgO und Eisenoxyden konstatiert worden in Uebereinstimmung mit der S. 612 angeführten Regel. Neben Gabbrogesteinen scheinen Amphibolite liefern zu können basische Trachydolerite, Shonkinite und etwa noch melanokrate Gänge. Immerhin ist der chemische Unterschied der verschiedenen Amphibolite nicht größer, als er etwa bei verschiedenen Basalten gefunden wird. Davon machen selbst Amphibolite sedimentogenen Ursprungs meist keine Ausnahme.

3i) Eklogite. Die mit den Granatamphiboliten durch Zwischenglieder verknüpften Eklogite haben durchgehends die chemische Zusammensetzung von Gabbrogesteinen.

3k) Grünschiefer. Das gleiche gilt von den verschiedenen Grünschiefern. Dieselben sind fast stets Derivate von Diabasen oder deren Tuffen. Da die Metamorphose in den oberen Partien der Erdrinde stattfand, wurde dabei meist reichlich Wasser, Sauerstoff und Kohlensäure aufgenommen, wodurch eine relative Abnahme der Kieselsäure erfolgt. Die einwertigen Basen werden mehrfach fortgeführt, viel weniger der Kalk, weil er sich an die Kohlensäure bindet. Einzelne Grünschiefer sind sericitreich, bei ihnen darf wohl auch eine Verdrängung von Na und Ca durch K gedacht werden.

3l) Glaukophanite. Die Epidotglaukophanite und deren chlorit- und albitführende Abzweigungen werden wegen ihrer chemischen Uebereinstimmung mit Diabasen von solchen abgeleitet. Neuerdings fanden sich unter ihnen auch Glieder, welche sich mit basischen Trachydoleriten, Shonkiniten, Tephriten und vereinzelt auch Dioriten decken.

3m) Granatolivinfelse und n) Hornblendeschiefer. Den basischen Massengesteinen der Peridotit- und Pyroxenitreihe entsprechen chemisch die seltenen Olivinfelse und -schiefer und die Granatolivinfelse aus der Serie der kristallinen Schiefer sowie die Hornblendeschiefer, welch letztere speziell wehrlitischen Chemismus besitzen. Im allgemeinen läßt sich aber sagen, daß gerade bei den meisten Derivaten der peridotitischen Gesteine, besonders dann, wenn die Umwandlung in den oberen Partien der Erdrinde vor sich geht, eine recht weitgehende Veränderung im chemischen Gehalt eintreten kann.

3o) Serpentin. Bei den Serpentinen findet allerdings lediglich eine starke Aufnahme von Wasser statt, so daß die wesentlichsten Oxyde eine sehr bemerkliche proportionale Verringerung erfahren.

3p) Chloritschiefer und q) Talkschiefer. Chloritschiefer bilden sich unter einer solchen Anreicherung an Tonerde, daß eine Zufuhr von außen wahrscheinlich wird. Bei der Entwickelung der Talkschiefer aus Peridotiten findet Aufnahme von Wasser und Kieselsäure statt. Sehr oft scheinen übrigens die Talkschiefer nicht direkte Derivate jener Gesteine zu sein, sondern als ternäres Umwandlungsprodukt derselben aus Serpentinen hervorzugehen. Auch gibt es Chlorit- und Talkschiefer sedimentären Ursprungs. Für letztere ist eine Entstehung aus tonigen Gesteinen durch Zufuhr von Mg-Lösungen festgestellt worden.

3r) Strahlsteinschiefer und Nephrite. Strahlsteinschiefer und Nephrite entwickeln sich unter Kalkaufnahme ebenfalls aus Peridotiten oder Serpentinen. Für manche Nephrite nimmt Steinmann an, daß sie gabbroiden Gängen in peridotitischen Massen entstammen und durch den Druck, welchen die Volumenvermehrung bei deren Serpentinisierung hervorruft, umgewandelt worden sind.

3s) Jadeitite. Unsicher sind die chemischen Verhältnisse und die Bildungsbedingungen bei der kleinen, aber interessanten Gruppe der Jadeitite. Sie entspricht genau keinem bekannten Sediment oder Massengestein, wenn auch, abgesehen von dem meist geringeren Kaligehalt, eine starke Annäherung an eläolithsyenitischen Chemismus konstatiert werden kann. Die reinsten weißen Jadeitite gehen restlos in der metasilikatischen Formel $NaAlSi_2O_6$ auf. Obgleich die Jadeitite stets innerhalb von Komplexen metamorpher Gesteine gefunden worden sind, wird neuerdings mehrfach die Ansicht ausgesprochen, daß sie primär erstarrte natronpyroxenitische Gesteine sind (Ktenas) oder daß ein eläolithsyenitisches Magma sich unter Druck verfestigte, wodurch an Stelle der spezifisch leichteren Mineralien Albit + Nephelin der spezifisch schwerere Jadeit zur Kristallisation kam (Bleek).

3t) Kalksilikatschiefer und -felse. Die Gruppe der Kalksilikatschiefer und Kalksilikathornfelse (Kalkphyllite, Kalkglimmerschiefer, Epidosite, Wollastonit und Diophidfelse, Großularfelse usw.) wird von kieseligen und tonigen Kalksteinen abgeleitet. Bei den Kalkphylliten und Kalkglimmerschiefern gehen die tonigen und kieseligen Bestandteile des Ausgangsgesteins einfach in Quarz und Glimmer über, das Calciumcarbonat bleibt erhalten. Bei den übrigen

Digitized by Google

Gesteinen der Gruppe dagegen findet eine partielle oder vollständige Verdrängung der Kohlensäure durch Kieselsäure statt; es tritt hier also eine sehr beträchtliche substantielle Aenderung gegen die Ausgangsgesteine ein. Die Menge des aus dem Carbonat sich bildenden Silikates ist dabei abhängig vom Gleichgewichtsdruck der Kohlensäure bei der betreffenden Temperatur. Kann alle Kohlensäure entweichen, so wird alles Carbonat in Silikat übergehen, verhindert das Ueberlastende ihr Fortgehen, so bildet sich nur so lange Silikat, bis der Druck der schon freigewordenen Kohlensäure dem Zersetzungsdruck des Carbonats das Gleichgewicht hält.

3u) Eisenglimmerschiefer und v) Magnetitgesteine. Die Eisenglimmerschiefer und Magnetitgesteine gehören wohl nur zum geringen Teil in diese erste Abteilung, da viele von ihnen pneumatolytischem Kontakt oder magmatischer Differentiation ihre Entstehung verdanken. Ein Teil allerdings stimmt chemisch mit stark eisenschüssigen Sedimenten überein und wird auch von solchen abgeleitet.

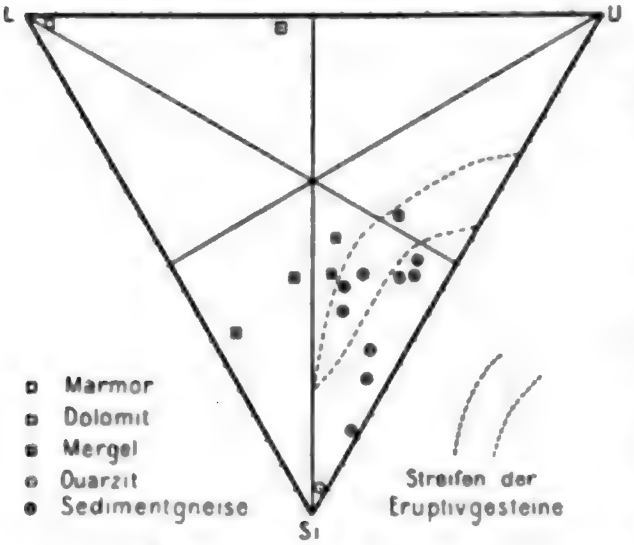
3w) Smirgel. Die chemischen Vorgänge bei der Bildung der Smirgel sind strittig. Wegen ihrer stofflichen Uebereinstimmung mit Bauxiten werden sie von diesen abgeleitet. Neuere Untersuchungen ergaben an Hand der akzessorischen Gemengteile, daß pneumatolytische Prozesse, Stoffzufuhr in Dampfform, dabei wahrscheinlich nicht unwesentlich beteiligt waren.

4. Chemische Klassifikation. Für metamorphe Gesteine der 1. Abteilnng bestehen erst 2 Klassifikationsversuche. Beide beruhen auf chemischer Grundlage und stimmen prinzipiell vollkommen überein. Der erste, von U. Grubenmann, umfaßt hauptsächlich die kristallinen Schiefer und gründet sich auf eine große Anzahl systematisch durchgeführter Analysen dieser Gesteine. Der zweite, von V. M. Goldschmidt, betrifft die Kontaktgesteine der Tonschiefer-Mergelreihe. Haupteinteilungsprinzip ist bei beiden der ursprüngliche chemische Bestand der Ausgangsgesteine, unabhängig vom primären Mineralbestand. Goldschmidt zeigt sogar, daß ein Diabas und ein Mergel, welche einen annähernd gleichen Chemismus besitzen, den gleichen Hornfels liefern. Soll die Metamorphose als ein den anderen gesteinsbildenden Vorgängen gleichwertiger Prozeß betrachtet werden, so muß sie in die Klassifikation wesentlich eintreten. Und ist es richtig, daß das durch die Metamorphose erlangte endgültige und vollständige Gleichgewicht im umgewandelten Gestein nur von der chemischen Substanz des Ausgangsmaterials abhängig ist, nicht von seiner Herkunft und seiner mineralischen Art, so kann bei einer genetischen Klassifikation auch wirklich nur der Gesamtchemismus des metamorphen Gesteins als erstes Klassifikationsprinzip in Betracht kommen.

5. Projektionsmethoden. Es ist in der Petrographie allgemein üblich geworden, die systematische Zusammengehörigkeit der Gesteine durch verschiedene Projektionsmethoden übersichtlich darzustellen. Zu diesem Zweck wird die quantitative chemische Analyse auf bestimmte Formeln gebracht, deren wichtigste Posten projiziert werden. Für die metamorphen Gesteine ist von U. Grubenmann die Methode von Osann (vgl. den Artikel „Petrochemie der Eruptivgesteine") mit einigen entsprechenden Abänderungen verwendet worden. Der charakteristische Tonerdeüberschuß der Sedimentgneise, Glimmerschiefer und Phyllite machte es notwendig, einen Wert T für denselben einzuführen, während für die nicht an Tonerde gebundene Kalkmenge ein Wert m eingesetzt wurde. Dieser letztere dient besonders zur Charakteristik der Kalksilikatgesteine. Auf die Osannschen Werte m und n, welch letzterer die Natronmenge im Verhältnis zum Kali ausdrückt, wird vorläufig verzichtet. Für die Derivate der Massengesteine hält die Methode auch unbedingt gut, ebenso für die Sedimentgneise und überhaupt alle metamorphen Gesteine, deren Mineralbestand nicht allzuweit von dem der Eruptivgesteine abweicht, weil sie sich eben auf dessen chemische Eigentümlichkeit gründet. Hingegen versagt sie vollkommen für die fast monomineralischen Sedimentderivate, wie Glimmerquarzite, Marmore und andere. Da in der Osannschen Projektion weder SiO_2 noch CO_2 zur Darstellung kommen, fehlt im Bilde für beide Gesteinsarten der wesentlichste Gemengteil. Uebrigens wird dieser Mangel von Grubenmann selbst betont und es werden auch die genannten Gesteinsgruppen von ihm nicht mehr projiziert. In Anbetracht dieser Mängel versuchte Becke eine andere Projektionsmethode einzuführen. Das Projektionsfeld ist ebenfalls das Dreieck Osanns, aber die Projektionsformel kommt auf anderem Wege zustande. Zunächst werden die Analysen nicht in Molekular-, sondern Atomprozente umgerechnet unter Auslassung des Sauerstoffs. Dann tritt das Si, als das wichtisgte gesteinsbildende Element in die Formel ein. Von den übrigen wichtigen Elementen werden die löslichen Basen (Ca+Na+K) unter L vereinigt, die unlöslichen (Al+Fe+Mg) unter U. Damit sind die drei Projektionswerte gegeben. Bei der Projekiton erfüllen die Analysenpunkte für die Erstarrungsgesteinsderivate, und natürlich auch für die

Digitized by Google

Erstarrungsgesteine selbst einen schmalen Streifen, der in der Nähe des Si-Pols an der Mittellinie beginnt und ungefähr im oberen Drittel der Linie Si-U endet. Die Trennung der einzelnen Gruppen ist aber eine viel weniger scharfe als bei Osann, die Häufung der Analysenpunkte eine viel größere. Hingegen werden die meisten Gruppen der Sedimentderivate sehr wohl voneinander gesondert. Die quarzitischen Gesteine liegen in der Nähe des Si-Pols, Kalksteine um den L-Pol, Dolomite in der Mitte zwischen U und L. Die Punkte vieler Tongesteinsderivate ziehen sich in einem schmalen Streifen rechts von dem der Erstarrungsgesteine hin, aber eine große Anzahl fällt auch innerhalb des letzteren mit sehr verschiedenen Massengesteinen zusammen, so daß hier die Trennung unscharf wird. Häufig lassen dann die Verhältnisse der in L zusammengefaßten Elemente Ca, Na, K zueinander, oder das Verhältnis U:Si auf ein Tongesteinsderivat schließen, doch ist dies nicht durchgehends der Fall, so daß gesagt werden muß, ein sicheres, für alle Fälle ausreichendes Unterscheidungsmittel für die Abkömmlinge von Sediment- oder Eruptivgneisen steht noch aus.



Projektion nach F. Becke.

6. Allgemeines über die metamorphen Gesteine der 2. Abteilung. Das Uebereinstimmende bei der Metamorphose der Gesteine der 2. Abteilung liegt lediglich darin, daß eine so beträchtliche Substanzzufuhr stattfindet, daß dadurch der stoffliche Gehalt des metamorphosierten Gesteins nach seinem wesentlichen Charakter geändert wird. Diese Aenderung kann auf verschiedene Weise vor sich gehen: 1. Durch die einem intrudierten Magma entströmenden Dämpfe, welche sehr verschiedenen chemischen Gehalt besitzen können, werden chemische Reaktionen inauguriert, bei welchen die dampfförmigen Körper in die sich neubildenden Mineralien eingehen und vorhandene Substanzen zum Teil verdrängen. So entstehen die Gesteine des pneumatolytischen Kontaktes. 2. Flüssiges Magma kann in ein festes Gestein nach Flächen und Linien geringster Kohäsion eindringen und dasselbe mit seiner Substanz imprägnieren. Injektionsmetamorphose. 3. Gesteine in Berührung mit flüssigen Magmen werden teilweise gelöst, so daß der Zusammenhang zwischen den einzelnen Komponenten öfter aufgehoben wird. Diese schweben dann in einer Schmelze, welche bei der Erstarrung ein Gestein liefert, in welchem die Substanzen des sich umwandelnden Gesteins und des Magmas vereinigt sind.

6a) Gesteine des pneumatolytischen Kontaktes. Der chemische Gehalt der Gesteine des pneumatolytischen Kontaktes wird nicht nur von der Natur der eindringenden Dämpfe und vom tatsächlichen Stoff des der Metamorphose unterworfenen Gesteins bestimmt, sondern auch von seiner Aufnahmefähigkeit für dieselben. Darauf weisen vor allem die mehrfach gemachten Beobachtungen hin, daß Tongesteine seltener und andere Substanzen aufnehmen, als Kalksteine. Daß dies nicht seinen Grund in der stofflichen Verschiedenheit der Exhalationen hat, geht daraus hervor, daß Kalksteine nicht selten der pneumatolytischen Kontaktmetamorphose verfallen, während dicht anliegende Tongesteine ohne wesentliche Stoffzufuhr metamorphosiert werden. Es findet also eine Art selektiver Absorption statt und die Aufnahmefähigkeit der verschiedenen Gesteine ist eine verschiedene. Kalkstein absorbiert am leichtesten und mannigfaltigsten, Tongesteine schwerer.

α) Exomorpher pneumatolytischer Kontakt. Die wichtigsten, beim pneumatolytischen Kontakt zugeführten Stoffe sind: Si, Ti, B, P, Cl, Fl, S, As, Sb, Bi, Fe, Mn, Zn, Sn, Cu, Pb, Ag, Mo, Be, Ce, auch Al, K, Na und Li. Man nimmt an, daß die meisten Metalle und Metalloide in Form von flüchtigen Halogeniden exhaliert werden. In vielen Fällen ist der Mechanismus der Reaktionen nicht so weit bekannt, daß Gleichungen darüber aufgestellt werden können. Gewöhnlich mögen die Halogenide durch Wasserdämpfe zersetzt werden. Dann bilden sich neben Metalloxyden HCl und HFl. Diese Säuren wirken energisch auf die Mineralien der anliegenden Gesteine ein und bilden mit ihnen neue, teils flüchtige, teils nicht flüchtige Halogenverbindungen. Diese letzteren reagieren dann wieder mit den Komponenten der Nebengesteine und den weiter zugeführten Dämpfen. Tongesteine scheinen für die Aufnahme von B und Fl besonders empfänglich zu sein, denn sie verfallen in der Regel nur der Turmalinisierung und

Digitized by Google

Topasierung. In Kalksteinen wird die Borsäure gern als Axinit gebunden. Am häufigsten nehmen diese aber Kieselsäure auf, welche die Kohlensäure verdrängt, daneben Fe, Mn, Al, Na und die meisten der oben angeführten Substanzen. So entstehen aus Kalksteinen Kontakterzlagerstätten und die sie begleitenden Skarngesteine, gewöhnlich Andradit- und Hedenbergitfelse mit Beimengungen von anderen Kalksilikaten wie Wollastonit, Epidot, Skapolith, Axinit, Albit und auch von Calcit. Für die Verdrängung der Kohlensäure durch SiO_2 gilt selbstverständlich auch hier das S. 615 Gesagte. Für die Entstehung aller Komponenten ist das Massenwirkungsgesetz maßgebend. Ist z. B. bei der Stoffzufuhr zu einem reinen Kalkstein $\frac{SiO_2}{Fe_2O_3} > 3$, so entsteht ein Andradit-Wollastonitgestein $\pm$ Carbonat, ist der Quotient < 3, so bildet sich ein Gestein aus Andradit und Eisenglanz, ebenfalls $\pm$ Karbonat. Die Entstehung der Eisenerze und Skarnmineralien kann nach folgendem Schema dargestellt werden:

$$2FeCl_3 + 3CaCO_3 = Fe_2O_3 + 3CaCl_2 + 3CO_2$$
$$SiFl_4 + 2CaCO_3 = SiO_2 + 2CaFl_2 + 2CO_2$$
$$SiO_2 + CaCO_3 = CaSiO_3 + CO_2$$
$$3CaSiO_3 + Fe_2O_3 = Ca_3Fe_2Si_3O_{12} \quad \text{(Andradit).}$$

Analog mag die Entstehung des Hedenbergitskarnes gedacht werden; nur kommt für ihn zweiwertiges Eisen in Betracht, während im Andradit dreiwertiges Eisen auftritt.

β) Endomorpher Kontakt. Die Einwirkung der einem erstarrenden Magma entströmenden gasförmigen Substanzen auf schon verfestigte Magmenanteile, die endomorphe Kontaktmetamorphose, ist prinzipiell nicht von der oben erörterten exomorphen verschieden. Am besten ist eine derartige Umwandlung granitischer Gesteine bekannt, wenn auch die einzelnen chemischen Vorgänge dabei nicht aufgehellt sind. Aufgenommen werden am häufigsten Si, Li, Fl, B, Zn, auch Fe, Na, K. Es entstehen dann Gneise, indem der Feldspat durch Quarz und Li-K-Glimmer ersetzt wird, wobei auch Zinnstein aufgenommen werden kann. Wenn Feldspat und Biotit durch Turmalin verdrängt werden, bilden sich Luxullianite, und Topasfelse kommen durch ähnliche Verdrängungen zustande. Endomorpher Kontakt bei basischen Massengesteinen ist kaum bekannt.

6b) Gesteine der Injektionsmetamorphose. Durch Injektion werden den verschiedensten Gesteinen magmatische Materialien zugeführt. Es sind dies am häufigsten aplitische oder pegmatitische Massen, denen wesentlich die Oxyde SiO_2, Al_2O_3, Na_2O und K_2O, auch CaO zugrunde liegen. Mineralisch bestehen sie aus Quarz und den verschiedensten Feldspäten. Auch reine Quarz- oder reine Feldspatinjektionen kommen gelegentlich und lokal vor. Ganz wie in den Apliten und Pegmatiten sind die injizierten Lagen und Adern öfter von Muskovit, Granat, Korund, Beryll, Hornblende, Augit, Epidot und anderen Mineralien erfüllt. Ihr Stoff kommt zum Teil aus dem injizierenden Magma und dessen Exhalationen, zum Teil (dies gilt besonders für Augite und Hornblenden), mag er aus dem von der Injektion betroffenen Gestein gelöst und dann wieder auskristallisiert sein; endlich kann er auch aus fremden Gesteinen stammen. So scheint z. B. der Epidot in Injektionsadern dadurch zustande zu kommen, daß ein wasserreicher Magmenrest Kalk auf seinem Wege aufgenommen hat. Basische Injektionen sind bis jetzt nur ganz vereinzelt bekannt. Für die Aufstellung von Gesetzmäßigkeiten fehlt die Breite der Erfahrung.

Trotz der oft sehr beträchtlichen Stoffzufuhr sind Injektionsgesteine aus der chemischen Analyse nur dann zu erkennen, wenn sehr heterogene Massen in ihnen vereinigt sind. Es ist dies ein seltener Fall. Dringt aber z. B. aplitisches Material in einen Gneis pelitischen Ursprungs ein, so wird der Chemismus des Additionsproduktes sich sehr stark dem granitischen nähern und dabei je nach der Menge des Injizierten saurer oder basischer sein. Noch schwieriger werden die Verhältnisse, wenn Aplit einen Orthogneis durchdringt oder wenn saure Magmen in einen Diabas eintreten. Im letzteren Falle resultiert der Chemismus eines dioritischen Gesteins. Nur dann wird also bei Injektionsgesteinen die chemische Untersuchung sichere Resultate liefern, wenn das Ausgangsgestein noch unverändert neben dem der Injektion unterworfenen auftritt oder wenn sich sogar eine Reihe aufstellen läßt vom unveränderten Gestein bis zum reinen injizierenden Material.

6c) Gesteine der Einschmelzmetamorphose. Ueber ihren Chemismus fehlen noch allgemeinere Kenntnisse, nur wenige Einzelheiten sind festgestellt. So weiß man, daß saure Feldspäte durch Resorption basischen Materials in basischere übergehen, und umgekehrt, daß gelöste Hornblende als solche, als Augit oder Biotit wiederkehren kann, und daß die Natur des einschmelzenden Magmas den teilweise resorbierten Einschluß chemisch beeinflußt. Quarzreiche Gesteinseinschlüsse in sauren Magmen erstarren zu Gläsern mit Hypersthenmikrolithen, in basischen zu solchen mit Aegirinmikrolithen. Die Erkennung der Einschmelzgesteine aus dem Chemismus unterliegt denselben Schwierigkeiten wie bei den Injektionsgesteinen. Die chemisch-physikalischen Vorgänge bei der

Digitized by Google

Einschmelzung sind von ungemein komplexer Natur. Es wirken dabei zusammen partielle oder vollständige Auflösung, Diffusion, Durchdringung von Dämpfen, deren Substanzen in die Neubildungen eintreten können und endlich Differentiationen, herbeigeführt durch Gleichgewichtsstörungen infolge des Hinzukommens neuer Substanz. Hier bleibt der Forschung ein weites Feld.

Literatur. ***F. Becke,*** *Die Entstehung des kristallinen Gebirges. Verhandl. der Gesellsch. deutscher Naturforscher u. Aerzte 1909.* — ***Derselbe,*** *Fortschritte auf dem Gebiet der Metamorphose aus Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie. Herausgegeben von G. Link. Jena 1911.* — ***A. W. G. Bleek,*** *Die Jadeitlagerstätten in Oberbirma. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1907.* — ***V. M. Goldschmidt,*** *Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet. Kristiania 1911.* — ***Derselbe,*** *Die Gesetze der Mineralassoziation vom Standpunkt der Phasenregel. Zeitschr. f. anorg. Chemie 1911.* — ***U. Grubenmann,*** *Die kristallinen Schiefer. Berlin 1910.* — ***Derselbe,*** *Der Granatolivinfels des Gordunotales und seine Begleitgesteine. Vierteljahrsschr. der naturforschenden Gesellsch. in Zürich 1908.* — ***Derselbe,*** *Ueber einige schweizerische Glaukophangesteine. Festschrift zum 70. Geburtstag von H. Rosenbusch. Stuttgart 1906.* — ***L. Hezner,*** *Der Peridotit von Loderio. Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellsch. in Zürich 1909.* — ***Dieselbe,*** *Petrographische Untersuchung der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthard (Tremolaserie). N. J. f. Min. Geol. u. Paläont. Bd. XXVII, 1908.* — ***E. Kalkowsky.*** *Geologie des Nephrits im südlichen Ligurien. Zeitschr. d. deutschen geol. Ges. 1906.* — ***K. A. Ktenas,*** *Die Einlagerungen im krist. Gebirge der Kykladen auf Syra u. Sifnos. Tsch. Min. Mitt. 1907.* — ***M. A. Lacroix,*** *Les enclaves des roches volcaniques. Macon 1893.* — ***Derselbe,*** *La formation de la Jadéite et les provinces minéralogiques sodiques dans les schistes cristallins 1911.* — ***F. Löwinson-Lessing,*** *Ueber die chemische Natur der Feldspat-Amphibolite 1911.* — ***S. A. Papavasiliu,*** *Ueber die Geologie von Naxos und seine Smirgellagerstätten. Archimedes Nr. 9, 1906.* — ***H. Rosenbusch,*** *Elemente der Gesteinslehre. Stuttgart 1910.* — ***Derselbe,*** *Zur Auffassung der chemischen Natur des Grundgebirges. Tsch. Min. Mitt. XII, 1891.* — ***Derselbe,*** *Die Steiger Schiefer und ihre Kontaktzone an den Graniten von Barr-Andlau und Hohwald. Abhandl. zur geol. Spezialkarte von Elsaß-Lothringen. Bd. I, 1877.* — ***G. Steinmann,*** *Die Entstehung des Nephrites in Ligurien und die Schwellungsmetamorphose. Sitzungsber. der Niederrhein. Ges. für Natur- u. Heilkunde in Bonn 1908.* — ***O. Stutzer,*** *Kontaktmetamorphe Erzlagerstätten. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1909.* — ***H. S. Washington,*** *A chemical study of the Glaukophane schists. Americ. Journ. of science XI, 1901.* — ***T. J. Woyno,*** *Petrographische Untersuchung der Kasannaschiefer des mittleren Bagnetales. N. J. für Min., Geol. u. Paläont. Bb. 1912.*

L. Hezner.

Petrographie.

Lithologie, Gesteinskunde.

Die Petrographie ist eine Wissenschaft, die erst in den letzten 50 Jahren zu einer selbständigen Bedeutung gelangt ist. Der alte G. A. Werner (siehe die Biographie Werner) hatte zuerst eine Unterscheidung zwischen ähnlichen Gesteinen nach dem Mineralbestande getroffen (roter und grauer Gneis) und diese Versuche sind dann fernerhin fortgesetzt worden, da aber nur das bloße Auge oder die Lupe für die Untersuchungen zur Verfügung standen, so konnten keine wesentlichen Erfolge erzielt werden. Erst nachdem der Engländer Sorby und der Deutsche Oschatz die Methode der Herstellung von Dünnschliffen und ihre mikroskopische Untersuchung gelehrt und G. Tschermak gezeigt hatte, wie man unter dem Mikroskop das Kristallsystem dünner Mineralplättchen bestimmen kann, erfuhr die mikroskopische Petrographie unter Führung von Vogelsang und F. Zirkel einen ungeahnten Aufschwung. Bald lernte man die einzelnen Gemengteile der Gesteine voneinander trennen und konnte sie so der chemischen Untersuchung zuführen. Neben der mikroskopischen Betrachtung ging nun die chemische einher und man stellte außerdem auch geologische Beziehungen auf. Auf Grund dieser drei Zweige gelang es H. Rosenbusch, ein vollständiges und ausgezeichnetes, im höchsten Maße fruchtbares Lehrgebäude zu errichten, das die Grundlage für alle folgenden Forschungen war. Um die künstliche Darstellung der Gesteine haben sich die Franzosen Fouquet und Michel-Levy besonders verdient gemacht.

Neuerdings haben physiko-chemische Methoden eine besondere Bedeutung erlangt und es haben diese Methoden unter Führung von Becke und Grubenmann gerade in der Petrographie der kristallinen Schiefergesteine zu großem Aufschwunge geführt. Am weitesten zurück ist noch die Petrographie der Sedimente.

Die Petrographie hat sich so zu einem besonderen Zweige der Geologie und Mineralogie entwickelt, steht jetzt auf einer sehr hohen Stufe und hat der Geologie wichtige Resultate in Hinsicht auf die Entstehung der Gesteine, der Mineralogie in Hinsicht auf die Entstehung der Mineralien geliefert.

Literatur *Die wichtigsten Lehrbücher:* ***H. Rosenbusch,*** *Elemente der Gesteinslehre. 3. Aufl. Stuttgart 1910.* — ***F. Rinne,*** *Praktische Gesteinskunde. 3. Aufl. Hannover 1905.* — ***Weinschenk,*** *Grundzüge der Gesteinskunde. Freiburg 1902.* — ***U. Grubenmann,*** *Die kristallinen Schiefer. 3. Aufl. Berlin 1910.* — ***G. Linck,*** *Tabellen zur Gesteinskunde. 3. Aufl. Jena 1909.*

Digitized by Google

— *Handbücher:* ***H. Rosenbusch* und *E. A. Wülfing*,** *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. 4. Aufl. Stuttgart 1904.* — ***F. Zirkel*,** *Lehrbuch der Petrographie. II. Aufl. Leipzig 1898.*

G. Linck.

Pettenkofer
Max.

Er wurde am 3. Dezember 1818 geboren und schied freiwillig aus seinem langen, an Arbeit und Erfolgen überreichen Leben in München am 9. Debruar 1901. Sein Wesen und sein fruchtbares Wirken hat M. Gruber in einem schönen Nekrolog liebevoll geschildert (Ber. 36, 4512). Zuerst Apotheker, studierte Pettenkofer an den Universitäten München, Würzburg, Gießen Medizin und Chemie, um dann eine Professur in München, später auch die dortige Hofapotheke zu übernehmen. Dieser Entwickelungsgang brachte es mit sich, daß er sich vielseitig betätigte. Seine Experimentaluntersuchungen betreffen zunächst analytische, auch technisch-chemische Fragen, bald aber macht sich der medizinische Einschlag geltend: physiologisch chemische Arbeiten und Forschungen auf dem Gebiete der erst durch ihn sich zu einem besonderen Wissenszweige entwickelnden Hygiene machen ihn zum Begründer dieser Wissenschaft. Es waren im Jahre 1851 Fragen der Heizung und Lüftung, die ihn in dieses Gebiet führten. Die Hygiene der Luft und des Luftwechsels, des Bodens, des Wassers, die Fragen der Abwässer, der Selbstreinigung der Flüsse haben ihm außerordentlich viel zu danken. Die Untersuchungen über ansteckende Krankheiten, besonders Cholera und Typhus und damit im Zusammenhang über Desinfektion, sind, wenn auch nicht alle seine Schlüsse dauernd Anerkennung fanden, dennoch bahnbrechend gewesen. Das gleiche gilt von seinen physiologisch-chemischen Arbeiten über Atmung und den animalischen Stoffwechsel, wobei er den nach ihm genannten Respirationsapparat zuerst benutzte. So war es natürlich, daß ihm das erste deutsche Ordinariat der Hygiene schon im Jahre 1864 übertragen wurde. Von seinen technischen Arbeiten ist die höchst einfache Regeneration alter Oelbilder wohl am bekanntesten geworden. Ueber alle seine Veröffentlichungen gibt das dem oben genannten Nekrolog angefügte Verzeichnis Aufschluß.

E. von Meyer.

Pfeilschwanzkrebse.
Xiphosura.

Die Pfeilschwanzkrebse sind eine Hauptgruppe der Gliedertiere, die sowohl zu den Crustaceen wie zu den Spinnentieren Beziehungen aufweist; sie sind wasserlebend und atmen durch Kiemen; kommen nur im Meer (atlantische Küste von Nordamerika) vor. Man vergleiche den Artikel „Xiphosura".

Pflanzenkrankheiten.
Infektiöse Pflanzenkrankheiten.

I. Einleitung. 1. Begriffsbestimmung der Pflanzenkrankheit. 2. Infektiöse Pflanzenkrankheiten. 3. Bildungsabweichungen. 4. Erforschung der Pflanzenkrankheiten: a) Wissenschaftliche (Wesen und Erreger). b) Praktische (Gegenmaßregeln). II. Die durch parasitische Pflanzen verursachten Pflanzenkrankheiten: A. Allgemeines. α) Verbreitung der Keime. β) Entwickelung der Keime. γ) Parasitismus. δ) Wirkung der Parasiten. ε) Bedingungen der Infektion. ζ) Spezialisierung. η) Sortenempfänglichkeit. ϑ) Wirtswechsel. B. Die Krankheiten im einzelnen nach den Erregern geordnet: 1. Myxomyceten. 2. Bakterien. 3. Echte Pilze: a) Phycomyceten. b) Ascomyceten: α) Aspergillaceen. β) Erysiphaceen. γ) Perisporiaceen. δ) Hypocreaceen. ε) Sphaeriaceen. ζ) Dothideaceen. η) Hysteriineen. ϑ) Phacidiaceen. ι) Pezizaceen. κ) Exoasceen. c) Basidiomyceten: α) Ustilagineen. β) Uredineen. γ) Autobasidiomyceten. αα) Hymenomyceten. ββ) Exobasidieen. d) Fungi imperfecti. III. Die durch Tiere verursachten Pflanzenkrankheiten und Schädigungen: A) Allgemeines. B) Die Krankheiten im einzelnen, nach den Erregern geordnet: 1) Nematoden. 2) Milben. 3) Insekten: a) mit beißenden, b) mit saugenden Mundteilen (Gallen). IV. Enzymatische Krankheiten.

I. Einleitung.

1. Begriffsbestimmung. Pflanzenkrankheit ist im allgemeinen jede Abweichung von dem normalen Verlauf der Lebensvorgänge, die in einem solchen Sinne vor sich geht, daß das Leben der Pflanze oder ihrer Teile dadurch bedroht wird. Eine scharfe Definition zu geben, ist schwierig, weil der Krankheitszustand kein absoluter ist; zwischen voller Gesundheit, dem Kränkeln durch unbedeutende Störungen und dem völligen Hinsiechen durch ernste Ursachen gibt es alle Abstufungen. Bei den meisten Krankheiten finden Beeinflussungen des Stoffwechsels statt; daraus ergeben sich dann Störungen der übrigen Lebensvorgänge, insbesondere des Wachstums und der Fortpflanzung. Als äußere Kennzeichen (Symptome) der Erkrankung sind fast immer abweichende Färbungen der ergriffenen Pflanzenteile bemerkbar. Diese bestehen entweder nur in Vergilbung infolge Zersetzung oder mangelhafter Bildung des Chlorophylls, mitunter in Verbindung mit der Neubildung lebhaft gefärbter Stoffe, oder sie beruhen darauf, daß die Zellen plasmolysiert werden, dann allmählich absterben und in Verwesung übergehen, wobei sich die Gewebe braun oder schwarz färben oder mitunter auch verbleichen. Häufig treten auch Veränderungen des Wachstums ein. Entweder sind es Hemmungen des Wachstums oder abnorme Steigerungen; die letzteren beruhen

Digitized by Google

in manchen Fällen nur auf übermäßiger Vergrößerung der vorhandenen Zellen, in anderen aber auf vermehrter Zellbildung. Zu diesen der kranken Pflanze eigenen Symptomen kommt vielfach noch das Hervortreten des Krankheitserregers als weiteres charakteristisches Kennzeichen hinzu.

2. Infektiöse Pflanzenkrankheiten. Sehr zahlreiche Pflanzenkrankheiten, vielleicht die größere Mehrzahl und die mannigfaltigeren Erscheinungen, werden durch spezifische Erreger aus dem Tierreiche und namentlich aus dem Pflanzenreiche hervorgebracht. Sie lassen sich vermittels dieser Erreger künstlich hervorrufen bezw. von einer Pflanze auf die andere übertragen. Ihnen schließt sich eine kleine Gruppe von Krankheiten an, die durch gewisse Giftstoffe, die im Stoffwechsel der kranken Pflanze entstehen, hervorgebracht und übertragen werden. Die Gesamtheit dieser Krankheiten, die man als infektiöse bezeichnen kann, soll den Gegenstand der nachfolgenden Darstellung bilden. Von den Krankheiten, die auf schädlichen Einflüssen der leblosen umgebenden Außenwelt beruhen, wird in dem Artikel „Pflanzenkrankheiten, nicht parasitäre Pflanzenkrankheiten", die Rede sein.

3. Bildungsabweichungen. Besonderer Erwähnung bedürfen noch die teratologischen Erscheinungen oder Bildungsabweichungen. Soweit bei ihrer Entstehung Organismen beteiligt sind, gehören sie zu den infektiösen Krankheiten. Viele aber kommen aus besonderen Konstitutionsverhältnissen des Protoplasmas zustande, sind mit den Samen erblich und reihen sich den Variabilitätserscheinungen an. Dennoch haben sie nicht selten den Charakter krankhafter Zustände, da sie oft schlechteres Gedeihen oder verminderte Fruchtbarkeit im Gefolge haben, wie z. B. die weißblätterigen Varietäten, die gefüllten Blumen, sprossende Blütenstände, zur Sterilität neigende Rassen usw.

4. Erforschung der Pflanzenkrankheiten. 4a) Wissenschaftliche Erforschung (Wesen und Erreger). Das Studium der Pflanzenkrankheiten hat eine wissenschaftliche und eine praktische Seite, die übrigens mannigfaltig ineinander greifen. Aufgabe der wissenschaftlichen Forschung ist neben der Untersuchung der Krankheitserscheinungen in erster Linie die Ermittelung der Krankheitsursache, und wenn diese ein Organismus ist, seiner verschiedenen Zustände, seiner Lebensgeschichte, seiner Infektionsbedingungen, seiner Wirkungen auf die Pflanze usw.

Durch Beobachtung der lebenden Pflanze wird der Verlauf der Krankheit festgestellt. Gleichzeitig setzt die mikroskopische Untersuchung ein, deren Ziel es ist, den Krankheitserreger aufzufinden. Größere tierische Schädlinge, Konidienträger, Sporenlager oder Fruchtkörper von Pilzen werden mitunter schon mit bloßem Auge oder mit der Lupe erkannt, bedürfen aber doch in der Regel genauerer mikroskopischer Untersuchung. In Schnitten durch das erkrankte Gewebe sucht man nach Pilzmycel, Bakterien oder tierischen Schädlingen, sowie nach den Veränderungen, welche durch die Schädlinge hervorgebracht werden. Methoden der Aufhellung und Färbung oder auch die Paraffintechnik werden erforderlichen Falles zu Hilfe genommen (vgl. den Artikel „Mikroskopische Technik"). Wichtig ist es, festzustellen, ob die vermutlichen Krankheitserreger, insbesondere Pilzmycel, aus dem kranken Gewebe in das gesunde vordringen (Fig. 1),

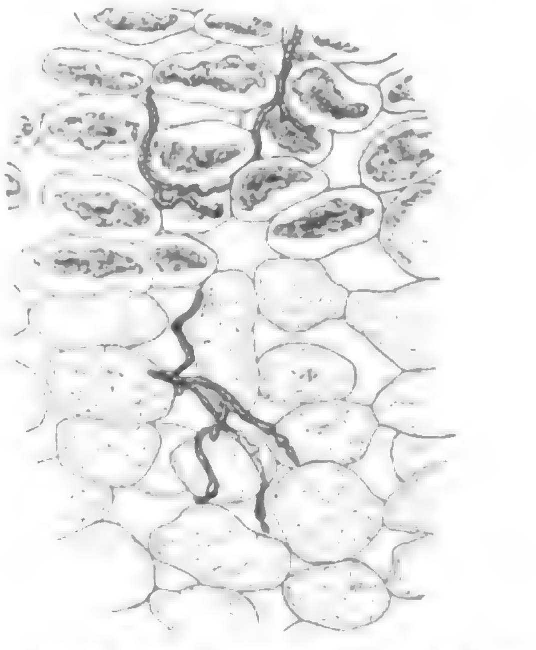


Fig. 1. Mycel von Phoma apiicola in einer Sellerieknolle, aus dem toten Gewebe (oben) in das gesunde vordringend. Das verbindende Hyphenstück durch den Schnitt entfernt. Aus Klebahn, Z. f. Pflanzenkrankheiten XX.

so daß der Krankheitsprozeß also dem Eindringen erst nachfolgt. Das Gewebe, dessen Leiden auffällt, braucht nicht der Sitz des Parasiten zu sein; so stirbt die Krone eines Baumes ab, wenn die Wurzeln erkrankt sind. Die Bestimmung des Parasiten orientiert, wenn er bekannt ist, über seine Bedeutung als Krankheitserreger. Wenn der Parasit noch nicht bekannt oder nicht untersucht ist, müssen Infektionsversuche die erforderliche Aufklärung bringen. Es kommt darauf an, die Keime von der kranken Pflanze auf die voraussichtlich zur Infektion geeigneten Teile einer gesunden zu übertragen, wenn möglich unter Anlehnung an die in der Natur beobachteten Vorgänge, z. B. mit Zuhilfenahme des natürlichen Abschleuderns der Keime, oder sonst mittels mechanischer Hilfsmittel, wie Messer, Pinsel, Zerstäuber. Wundparasiten setzen die Benutzung oder Herstellung von Wunden oder abgetöteten Stellen voraus. Nach der Impfung bringt man die Pflanzen unter Bedingungen, welche die Entwickelung des Parasiten, insbesondere das

Digitized by Google

Keimen der Sporen und das Eindringen der Keimschläuche möglichst erleichtern. Gewöhnlich bedeckt man die Pflanzen mit Glasglocken. Wunden werden nötigenfalls verbunden. Zweckmäßig ist es, die Versuche in besonderen Gewächshäusern mit getrennten Abteilungen auszuführen. Kontrollversuche mit ungeimpften Pflanzen und sorgfältige Buchführung sind notwendig. Schwierigkeiten mannigfaltiger Art entstehen, wenn das Infektionsmaterial nicht rein oder nicht in genügender Menge erhältlich ist, wenn eine Entscheidung über die Zusammengehörigkeit verschiedener Fruchtkörpergenerationen, insbesondere in Verbindung mit Wirtswechsel zu treffen ist, oder wenn das parasitische Verhalten der Schädlinge noch von besonderen Bedingungen abhängig ist. In allen Fällen, wo es möglich ist, wird man die Reinkultur zu Hilfe nehmen, teils um reines Infektionsmaterial zu gewinnen, teils um den Zusammenhang von Fruchtkörpergenerationen nachzuweisen, teils auch, weil die Reinkultur oft zur Unterscheidung der Parasiten wertvolles Material liefert. Beim Studium der durch Bakterien erzeugten Krankheiten ist Reinkultur unerläßliche Bedingung. Auf die Herstellung von Bakterienreinkulturen einzugehen, ist hier nicht der Ort (vgl. die Artikel „Bakterien“ und „Reinkultur“). Die Reinkultur der Pilze (Fig. 2) setzt etwas abweichende Methoden voraus, die oft von Fall zu Fall erprobt werden müssen. Isolierung der Keime nach dem Kochschen Plattenverfahren versagt meistens, wenn es gilt, noch unbekannte Pilze und namentlich langsam wachsende Mycelien von den rasch wachsenden der gemeinen Schimmelpilze und von Bakterien zu trennen. Für den Nachweis des Zusammenhangs bestimmter Fruchtformen ist es manchmal nötig, die Entwickelung des Pilzes aus einer einzelnen Spore unter dem Mikroskop zu verfolgen. Einrichtungen nach Art der feuchten Kammern, in denen die Pilze im hängenden Agartropfen kultiviert werden, sind für diesen Zweck oft mit Vorteil benutzbar. Im allgemeinen müssen Pilzkulturen auf längere Dauer eingerichtet werden als Bakterienkulturen. Als Nährboden verdient Agar vor Gelatine den Vorzug, weil es durch die als Verunreinigungen auszuschließenden Bakterien nicht so leicht verflüssigt wird. Als Nährstoffe sind Extrakte aus Früchten oder anderen Pflanzenteilen, schwach sauer, meist am geeignetsten. Die Ueberimpfung geschieht bei Pilzkulturen in der Regel mittels kleiner Teilchen der älteren Kulturen, die man an passenden Stellen absticht.

Tierische Schädlinge wird man gegebenenfalls ihren Lebensgewohnheiten und ihrer Entwickelungsgeschichte gemäß zu übertragen versuchen. Reinkulturen im obigen Sinne dürften sich schwerlich herstellen lassen.

4b) Die praktische Erforschung (Gegenmaßregeln). Die **praktische Forschung** stellt sich die Aufgabe, Maßnahmen zur Verhütung, Bekämpfung oder Heilung der Pflanzenkrankheiten zu finden und zu erproben.

Eine **Heilung** erkrankter Pflanzenorgane ist im allgemeinen nicht möglich. Wunden können durch Wundkork geschlossen werden oder durch Ueberwallung verwachsen, aber der ursprüngliche Zustand wird nicht wieder hergestellt. Heilung einer ausdauernden Pflanze ist insofern möglich, als es gelingen kann, die Ausbreitung der Krankheit auf die sich neubildenden Organe zu verhindern und die erkrankten zu entfernen. Wunden an Bäumen sind durch geeigneten Verschluß gegen das Eindringen von Parasiten zu schützen. Bereits infizierte Wunden (Krebswunden usw.) bedürfen zuvor sorgfältiger Reinigung von den ergriffenen Teilen. Im übrigen beschränken

Fig. 2. Beispiel einer Pilzreinkultur in einer Petrischale (Gnomonia veneta). Aus Klebahn, Jahrbuch für wissenschaftliche Botanik XLI.

Digitized by Google

sich die Möglichkeiten der Behandlung der Pflanzenkrankheiten auf die Verhütung des Auftretens und die Einschränkung der Ausbreitung.

Um diese Aufgaben mit Aussicht auf Erfolg in Angriff nehmen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Krankheitserreger in den meisten Fällen eine Vorbedingung. Es gibt zwar einige allgemeine Maßregeln, die stets zu empfehlen sind und sich in zahlreichen Fällen wiederholen. Aber eine zweckmäßige Anwendung derselben ist doch im allgemeinen nur möglich, wenn die Lebensgeschichte der Erreger genau bekannt ist und man also Aussicht hat, das Uebel an der Wurzel zu fassen oder es an einer schwachen Seite anzugreifen. In einigen Fällen kann aber die wissenschaftliche Erforschung der Ursache auch zu dem Resultat führen, daß die Bekämpfung aussichtslos oder nicht in rentabler Weise durchführbar ist, und daß sich eine Besserung der Gesundheitsverhältnisse der Pflanze nur durch die Kultur von weniger empfänglichen Sorten erreichen läßt.

Die Beseitigung der kranken Pflanzenteile, am besten durch Verbrennen, empfiehlt sich in allen Fällen, wo an der Oberfläche derselben Keime entstehen, welche neue Pflanzen infizieren können, und namentlich auch dann, wenn die Bildung an den überwinterten Ueberresten fortdauert oder neu beginnt. Wenn der Schädling wirtswechselnd lebt, ist die Beseitigung des Zwischenträgers oft ein erfolgreiches Mittel (Birnenrost). Das Aufbringen kranker Pflanzenteile auf den Komposthaufen sowie das nachlässige Fortwerfen oder Umherliegenlassen derselben ist verwerflich. Möglichste Reinlichkeit und Sauberkeit ist auch in Pflanzenkulturen eine der wichtigsten sanitären Maßregeln.

Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel ist das direkte Fangen und Vernichten schädlicher Tiere und ihrer Brut. Wenn auch die größeren fressenden Insekten nicht als Krankheitserreger bezeichnet werden können, so fallen doch die gegen sie anzuwendenden Maßnahmen mit in das allgemeine Gebiet der Krankheits- und Schädlingsbekämpfung. Die einzelnen Methoden aufzuzählen, würde zu weit führen. Beachtenswert ist auch der Schutz der insektenfressenden Vögel.

In vielen Fällen, wo die Beseitigung der erkrankten Teile oder der Fang der Schädlinge praktisch nicht durchführbar ist, hat sich die Anwendung von Giften zur Tötung der Schädlinge oder ihrer Keime als nützliche Maßregel bewährt. Hier wären die folgenden Methoden zu nennen.

1. Die Samenbeize mit Kupfervitriol, heißem Wasser, Formalin usw., zur Abtötung der an den Samen befindlichen Sporen oder Fruchtkörper von Pilzen.

2. Die Behandlung überwinternder Pflanzenteile (Baumstämme und Zweige, Knollen usw.) mit Giften, z. B. Teer, Karbolineum, Kalk, Kupferpräparaten, Petroleummischungen, zur Tötung der Keime, die von ihnen aus die jungen Triebe befallen.

3. Die Bespritzung des Laubes mit pilz- oder insektentötenden Mitteln, wobei man sich am besten der sogenannten Rebspritzen oder Peronospora-Spritzen bedient. Zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten verwendet man am meisten die zuerst 1883 von Millardet empfohlene Bordeaux-Brühe oder Kupferkalkbrühe, die in 100 Litern Wasser 2 kg Kupfervitriol und so viel gelöschten Kalk enthält, daß eine vollständige Umsetzung eintritt. Man hat auch trockene Mischungen in den Handel gebracht, die mit Wasser eine Art Kupferkalkbrühe ergeben, oder auch den Kalk durch Soda (Kupfervitriol-Soda-Mischung) oder durch Ammoniak (Eau céleste, Azurin) zu ersetzen versucht. Doch haben alle diese Mittel die frisch bereitete Bordeauxbrühe bisher nicht zu verdrängen vermocht. Gegen einzelne Pilzkrankheiten sind Schwefelalkalien mit gewissem Erfolg verwendet worden. Gegen schädliche Insekten werden Schweinfurter Grün, Schwefelalkalien, Emulsionen von Petroleum in Seifenwasser, Nikotin, Abkochungen von Tabak, Quassia usw. empfohlen. Einige dieser Mittel wirken, wenn die Tiere sie mit ihrer Nahrung verzehren. Andere wirken durch die Berührung mit der Haut; diese müssen so beschaffen sein, daß sie die Tiere leicht benetzen.

4. Die Bestäubung des Laubes mit pulverförmigen Substanzen mittels eines geeigneten Pinsels oder Blasebalgs. Schwefelblumen, Kupfervitriolspecksteinmehl, Pyrethrum-Pulver und andere kommen in Betracht.

5. Gasförmige Mittel. Räuchern mit Tabak oder Nikotin hat in Gewächshäusern oft guten Erfolg gegen tierische Schädlinge. Mit Blausäure hat man im Freien Schädlinge zu töten versucht, wobei man die Pflanzen mit einem geeigneten Schirm bedeckte.

6. Zur Abtötung von Pilzkeimen oder Insekten im Boden ist eine Behandlung des Bodens mit verschiedenartigen Mitteln angewendet worden. Gegen Engerlinge, Rebläuse usw. hat man Schwefelkohlenstoff mit Hilfe besonderer Spritzen eingespritzt oder in Form von Emulsionen aufgegossen. Mit Karbolineum hat man in Holland versucht, die Sklerotien der Tulpenkrankheiten zu töten. Zur Herstellung keimfreier Saat- und Pikierbeete für Selleriekultur hat Verfasser Formaldehyd und Phenostal (Kresoloxalsäureester) mit Erfolg verwendet. Auch gebrannter Kalk wird zur Tötung von Keimen im Boden empfohlen. Schwierigkeiten bei der Anwendung dieser Mittel bestehen in den oft zu hohen Kosten, ferner darin, daß die Substanzen sich nicht immer so leicht im Boden verbreiten, um alle Keime zu töten, und mitunter darin, daß der Boden längere Zeit hindurch für Pflanzenwachstum ungeeignet bleibt.

II. Die durch parasitische Pflanzen verursachten Pflanzenkrankheiten.

A. Allgemeines.

Die überwiegende Mehrzahl der eigentlichen infektiösen Pflanzenkrankheiten wird durch parasitische Pflanzen hervorgebracht, und zwar insbesondere durch Myxomyceten, Bakterien und namentlich durch echte Pilze. Die wenigen parasitischen Algen sind ohne größere Bedeutung (vgl. den Artikel „Parasiten"). Die zum Teil sehr auffälligen pathologischen Veränderungen, die durch parasitische Pha-

Digitized by Google

nerogamen (vgl. den Artikel „Parasiten") verursacht werden, können nicht eigentlich als infektiöse Pflanzenkrankheiten bezeichnet werden.

α) Verbreitung der Keime. Auftreten und Ausbreitung der Krankheiten wird durch die Keime der erwähnten Organismen bewirkt. Diese Keime, in den meisten Fällen die Sporen, bei den Bakterien auch wohl die vegetativen Zellen selbst, sind in der Regel so klein — Größen über $^1/_{50}$ mm sind schon verhältnismäßig selten —, daß sie durch den leisesten Luftzug fortgetragen werden können. Außer der Luft kommt in besonderen Fällen auch das Wasser als Transportmittel in Betracht. Außerdem helfen Tiere die Keime übertragen, z. B. Insekten, und endlich werden vielfach durch Handel und Verkehr, durch die Verschickung von Samen, Früchten, Zwiebeln, Knollen oder ganzen Pflanzen die Krankheiten verschleppt (vgl. Fig. 13).

β) Entwickelung der Keime. Nachdem die Keime auf einen der Erkrankung zugänglichen Organismus gelangt sind, beginnen die Entwickelung und das Eindringen derselben, die je nach der Art der Parasiten und der Nährpflanzen verschieden verlaufen und von verschiedenartigen Bedingungen abhängig sind. Sichtbare Folgen der Infektion treten in wenigen Fällen schon nach kurzer Zeit auf, z. B. bei gewissen Botrytis-Erkrankungen schon nach 24 Stunden; meist dauert es aber mehrere Tage, Wochen oder Monate, bevor Erscheinungen äußerlich sichtbar werden (Inkubationsperiode). Gewisse Pilze infizieren außer durch Keime (Sporen) auch so, daß ihr Vegetationskörper, das Mycel, von einer Pflanze zu einer sie direkt berührenden oder selbst durch den Erdboden zu einer entfernteren hinüberwächst.

Als Sitz der parasitären Krankheit kann jeder Pflanzenteil in Betracht kommen, krautige und holzige Teile, Wurzeln, Stengel, Blätter, Blüten und Früchte. Die Wirkung der Erkrankung zeigt alle Abstufungen zwischen dem Auftreten einzelner Blattflecken und dem Absterben der ganzen Pflanze, zwischen zeitweiliger Steigerung und dauernder Hemmung des Wachstums, zwischen verborgener Auszehrung und offenkundiger Zerstörung. Dies gilt auch für die durch Tiere hervorgebrachten Krankheiten.

γ) Parasitismus. Um zu einem Verständnis der Wirksamkeit der krankheiterregenden Organismen zu kommen, ist es nötig, auf die Ernährungsverhältnisse einen Blick zu werfen. Die grünen Pflanzen erzeugen ihre Körpersubstanz aus anorganischen Stoffen, aus der Kohlensäure der Luft und dem Bodenwasser mit gewissen darin gelösten Salzen (autotrophe Ernährung). Die Tiere und alle nicht grünen Pflanzen sind dagegen auf die organische Substanz angewiesen, die von den grünen Pflanzen vorher produziert worden ist (heterotrophe Ernährung). Man nennt sie Parasiten, wenn sie in lebende Pflanzen oder Tiere eindringen und diesen ihre Nahrung entnehmen, Saprophyten, wenn sie sich von den toten Ueberresten lebender Wesen ernähren. Die krankheiterregenden Organismen sind Parasiten, und ihre schädliche Wirkung besteht wenigstens zum Teil darin, daß sie durch Nahrungsentnahme den Stoffwechsel ihrer Wirte stören. Indessen gibt es keine scharfe Grenze zwischen Parasiten und Saprophyten.

Ein Teil der Parasiten, z. B. die Rostpilze, scheint streng auf parasitische Ernährung angewiesen zu sein. Andere lassen sich auf künstlichem Nährboden kultivieren, also in „Reinkultur" gewinnen. In der Natur macht sich dieses Verhältnis insofern bemerkbar, als die letztgenannten Organismen in ihrer Entwickelung vielfach einen Wechsel zwischen parasitischer und saprophytischer Ernährung zeigen. Sie befallen lebende, gesunde Pflanzenteile, töten dieselben und entwickeln sich auf den toten Teilen saprophytisch weiter (blattfleckenbildende Ascomyceten), oder sie siedeln sich auf abgestorbenen Pflanzenteilen an und dringen von diesen gegen die lebenden Teile vor, werden also später parasitisch (Nectria und andere Baumparasiten).

Es handelt sich auch nicht unbedingt um einen einseitigen Angriff. Der befallene Organismus scheint sich in gewissen Fällen des Angriffs zu erwehren, es gelingt ihm mitunter, den eingedrungenen Fremdling zu überwinden, ihn zu töten oder ihn sogar in seinen Dienst zu stellen (Wurzelknöllchen, Mykorrhizen), oder wenigstens sich bis zu einem gewissen Grade an ihn zu gewöhnen. Auf den Kampf zwischen Wirt und Schmarotzer deuten vielleicht die Vorgänge hin, die man an den Zellkernen pilzbefallener Zellen beobachtet (vgl. Fig. 11).

δ) Wirkung der Parasiten. Nach dem verschieden ausgeprägten Grade des Parasitismus kann man verschiedenartige Abstufungen der Wirkung der krankheiterregenden Organismen auf die befallene Pflanze unterscheiden.

In vielen Fällen folgt dem Eindringen des Parasiten sehr bald eine Abtötung der ergriffenen Gewebe, die sich durch Entstehung mißfarbiger Flecken bemerkbar macht.

Die erste Veränderung ist die Plasmolyse der Zellen. Dieser folgt ein Welken des Gewebes, das mitunter zum Vertrocknen, in anderen Fällen aber auch zu einer fauligen Zersetzung führt

Digitized by Google

(Fig. 3). Die Farbe der Flecken ist meist gelblich, braun oder schwarz, geht aber gelegentlich

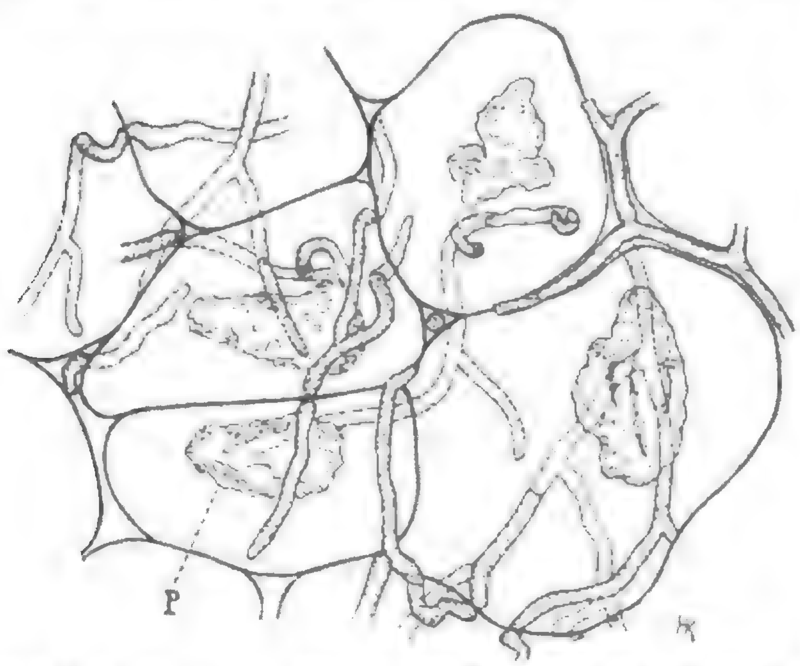


Fig. 3. Inter- und intrazellulär wachsendes Mycel in einer sklerotienkranken Tulpenzwiebel. Zellen plasmolysiert. Aus Klebahn, Z. f. Pflanzenkrankheiten XIV.

Fig. 4. Tulpenblatt, durch Botrytis parasitica zerstört. Aus Klebahn, Jahrb. Hamburg. wissenschaftliche Anstalten XXII.

nachträglich auch in grau oder weißlich über. Mitunter macht sich die Verfärbung schon in der Umgebung der Keime bemerkbar, die in das Gewebe einzudringen suchen; es scheint, als ob dieselben schon im ersten Keimungsstadium Giftstoffe ausscheiden, welche tötend auf die Zellen wirken. Je nach der Art des Parasiten entstehen bloß zerstreute, eng umschriebene Infektionsstellen, z. B. bei vielen Blattfleckenkrankheiten (Fig. 20 u. 27), oder die Flecken dehnen sich aus und ergreifen, namentlich wenn geeignete Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft mitwirken, nach und nach ausgedehnte Teile der Pflanze, z. B. bei Botrytis-Krankheiten (Fig. 4). Es erscheint möglich, daß die Krankheiterreger in einzelnen dieser Fälle gewissermaßen als Saprophyten in den durch ihre Ausscheidungsprodukte zuvor getöteten Geweben weiter wachsen. Sicher ist, daß die in Betracht kommenden Organismen wenigstens einen Teil ihrer Entwickelung als Saprophyten durchmachen.

Die meisten der durch Bakterien erzeugten sowie zahlreiche durch Pilze, besonders Ascomyceten und Fungi imperfecti, hervorgebrachte Krankheiten gehören hierher. Neue Keime des Parasiten, welche die Krankheit verbreiten, entstehen an der Oberfläche der Flecken (Konidienträger und Fruchtkörper von Pilzen), oder sie bilden sich im Innern und werden nach der Zersetzung der Gewebe frei (Oosporen von Phytophthora, Bakterien usw.). Nicht selten siedeln sich an derartigen Krankheitsstellen, namentlich wenn sie sich an unterirdischen Organen finden, fäulnisbewohnende Bakterien, Pilze oder Tiere, besonders Aelchen und Milben an und helfen die ergriffenen Gewebe zerstören.

Eine wesentlich **höhere Stufe** des Parasitismus ist in denjenigen Fällen erreicht, wo die Zellen der ergriffenen Pflanzenteile **trotz der Anwesenheit des Parasiten am Leben bleiben** und erst absterben, wenn der letztere selbst seine Entwickelung vollendet hat.

Die Gegenwart der Parasiten bleibt natürlich nicht ohne Einwirkung auf die Zellen und ihre Lebenserscheinungen. Es findet eine Auszehrung statt, das Chlorophyll wird in der Regel zersetzt, die Stärke gelöst, auch die Zellkerne können in Mitleidenschaft gezogen werden. Gelbe oder blasse Flecken in den Geweben zeigen die Gegenwart des Schmarotzers an, und nicht selten entstehen auch durch Neubildung von Farbstoffen (Anthocyan) lebhafte Färbungen. Erscheinungen dieser Art werden nur durch ausgeprägte Parasiten hervorgebracht, die meistens, soweit man weiß, nicht imstande sind, saprophytisch zu leben oder in Reinkultur auf künstlichem Nährboden zu wachsen.

In den einfacheren Fällen erleiden die Gewebe des Wirts keine oder keine wesentlichen anato-

Digitized by Google

mischen Veränderungen, abgesehen davon, daß später die Fruchtkörper der pilzlichen Erreger die Oberhaut durchbrechen. Hier wären besonders die durch die Uredogenerationen der Rostpilze, die durch Peronospora-Arten erzeugten Krankheiten und ähnliche zu nennen.

In vielen Fällen aber erfährt die gegenseitige Anpassung zwischen Wirt und Parasit noch eine weitere Ausbildung. Die Gewebe des Wirts werden im jugendlichen Zustande befallen, wachsen mit dem Parasiten zusammen heran, und die Zellen werden durch einen von dem letzteren ausgeübten Reiz zu stärkerem Wachstum oder auch zu gesteigerter Vermehrung angeregt. Es entstehen Anschwellungen, Umgestaltungen und selbst abnorme Wucherungen der Gewebe, die den durch tierische Parasiten erzeugten Gallen vergleichbar sind (Pilzgallen, vgl. den Artikel „Pilze" Fig. 3). Mitunter werden ganze Sprosse auch morphologisch umgestaltet, oder es tritt vermehrte Knospenbildung ein, die zur Entstehung von Hexenbesen führt (Fig. 5). Als Parasiten, die hier in Betracht kommen, könnte man Plasmodiophora, Exobasidium, einige Peronosporaceen, viele Exoasceen und Uredineen nennen.

irdischen Knospen (Aecidium leucospermum auf Anemonen, Aecidium und Uromyces auf Euphorbia) usw.

Ferner sind die äußeren Umstände, insbesondere die **Witterungsverhältnisse** für das Zustandekommen der Infektion von einschneidender Bedeutung.

Nur wenn die Keime der Parasiten einen genügenden Wasservorrat aufzunehmen und festzuhalten vermögen, können sie aus dem Ruhezustande zur Entwickelung übergehen und in die Gewebe des Wirts eindringen. Eine Tulpe, mit Sporen der Botrytis parasitica bestäubt, und in ein trockenes Zimmer gestellt, bleibt gesund; dieselbe Pflanze, 24 Stunden mit einer Glasglocke bedeckt, zeigt zahlreiche Infektionsstellen. Auch Wechsel von Wärme und Kälte scheinen als Reizwirkung einen Einfluß auf die Infektion zu haben; daß Kältereiz die Sporenkeimung begünstigen kann, ist z. B. für die Rostpilze nachgewiesen worden.

Von einzelnen Forschern wird angenommen, daß außer den erwähnten Verhältnissen auch bei den streng parasitischen Organismen

ε) **Bedingungen der Infektion.** Der Grad des Parasitismus ist auch von ausschlaggebender Bedeutung für die Infektion der Nährpflanze durch den Parasiten.

Die **strengen und echten Parasiten** vermögen in vollkommen gesunde und unverletzte Pflanzen einzudringen und Krankheiten derselben hervorzurufen. Allerdings ist die Infektion trotzdem noch von gewissen Bedingungen abhängig. Diese liegen zum Teil in **Verhältnissen der Nährpflanze** selbst.

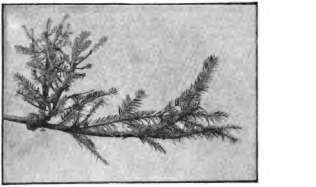


Fig. 5. Hexenbesen der Weißtanne (Melampsosella Caryophyllacearum). Links der von der knolligen Zweiganschwellung ausgehende Hexenbesen; rechts der normale Zweig. Aus von Tubeuf, Pflanzenkrankheiten.

Wenn der Parasit eindringt, indem er die Wände der Epidermiszellen durchbohrt, vermag er in der Regel nur ganz jugendliche Organe zu infizieren (Sporidien der Rostpilze usw.); wählt er die Spaltöffnungen oder die Wasserspalten als Eingangspforten, so kann er nur an solchen Stellen eindringen, wo diese vorhanden sind, z. B. an der Blattunterseite (Uredosporen), am Blattrand (gewisse Bakterien) usw. (Fig. 6—9). Mitunter ist die Pflanze nur in ganz bestimmten Entwickelungsstadien oder an ganz bestimmten Organen der Infektion zugänglich, z. B. als Keimpflanze (Cystopus candidus, gewisse Brandpilze usw.), an den Narben oder Fruchtknoten (Sclerotinia, Claviceps, gewisse Brandpilze), den unter-noch besondere, allerdings durch die Einwirkung der Außenwelt bedingte **Prädispositionszustände der Nährpflanze** für das Zustandekommen der Infektion entscheidend seien.

Es wird nicht bestritten werden können, daß kleine Aenderungen in der Reaktion oder in der Zusammensetzung der Zellenbestandteile, die man sich ihrerseits durch klimatische oder Bodeneinflüsse entstanden denken kann, auf die Entwickelung der Parasiten von Einfluß sind. Im ganzen sind die Meinungen, die über diese Fragen vorgebracht werden, wenig geklärt. An Versuchen, exakte, insbesondere experimen-

Digitized by Google

telle Grundlagen zu gewinnen, fehlt es noch ganz.

Für das gelegentliche epidemische Auftreten von Krankheiten, die in anderen

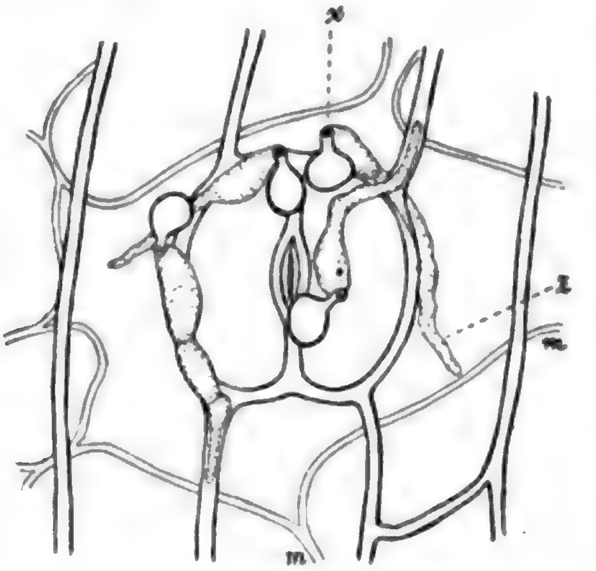


Fig. 6. Keimende Konidien von Botrytis parasitica auf geeignetem Substrat. Die Keimschläuche durchbohren die Cuticula (x), wachsen dann unter derselben und dringen innerhalb der Membran durch die Epidermis in die Tiefe (z).

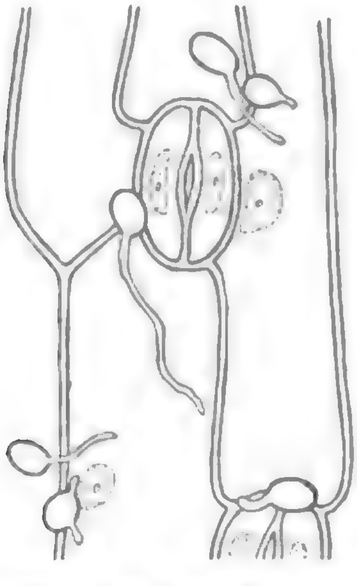


Fig. 7. Dieselben, auf ungeeignetem Substrat keimend. Die Keimschläuche dringen nicht ein. Aus Klebahn, Z. f. Pflanzenkrankheiten XIV.

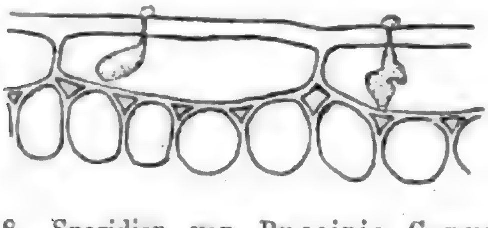


Fig. 8. Sporidien von Puccinia Convallariae-Digraphidis, die Keimschläuche durch die Membran in die Epidermiszellen von Polygonatum multiflorum eingedrungen. Original.

Jahrgängen in mäßigen Grenzen bleiben, wird man in erster Linie klimatische Verhältnisse verantwortlich zu machen haben.

Es leuchtet ein, daß es gewisse Kombinationen von kalter und warmer, von trockener und feuchter Witterung geben kann, welche die Entstehung, die Verbreitung und die Keimung z. B. der Pilzsporen in hervorragendem Grade fördern, und dagegen andere, welche sie hemmen. Ebenso wird die Witterung ohne Zweifel auf die längere oder kürzere Erhaltung eines empfänglichen Zustandes von Einfluß sein. Ob darüber hinaus noch weitere disponierende Einwirkungen in dem vorhin angedeuteten Sinne stattfinden, ist schwer zu sagen.

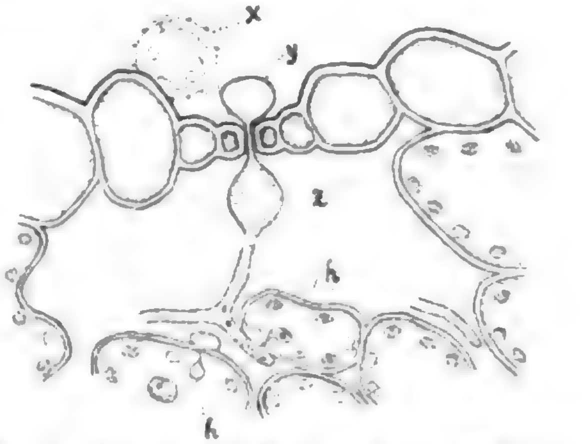


Fig. 9. Der Keimschlauch einer Uredospore von Puccinia triticina dringt durch die Spaltöffnung in ein Weizenblatt ein. x Spore (nach anderen Zeichnungen ergänzt), y Appressorium, z Anschwellung des Keimschlauches in der Atemhöhle, h Haustorien. Nach Evans, Ann. of Bot. XXI.

Den echten Parasiten stehen die Wundparasiten als eine zweite Gruppe gegenüber. Sie infizieren nur, wenn ihre Keime in Wunden oder auf abgestorbene Teile der Nährpflanze gelangen; sie setzen also eine ganz bestimmte Prädisposition der Nährpflanze voraus.

Hierher gehört die Mehrzahl der in Rinde und Holz der Bäume schmarotzenden Pilze; auch die Bakterienkrankheiten hat man zum größeren Teil nur durch Impfung in Wunden hervorrufen können. Durch Frost, Windbruch, Insektenschäden, auch durch die Hand des Menschen werden die Vorbedingungen für den Angriff dieser Krankheitserreger geschaffen; unter Umständen dürften die kleinsten Wunden zur Infektion ausreichend sein. Der krankheitserregende Organismus ist in diesen Fällen nicht die primäre, aber doch die bestimmende Ursache der Krankheit; ohne ihn würde die Wunde normal verheilen, das typische Krankheitsbild nicht zustande kommen.

Eine dritte Gruppe von Parasiten hat man als Schwächeparasiten bezeichnet. Sie dringen in die gesunde Pflanze nicht ein, anscheinend auch durch Wunden nicht, finden sich aber trotzdem, echten Parasiten

Digitized by Google

ähnlich, als Begleiter und bestimmende Ursache gewisser Krankheiten. Sie setzen eine Prädisposition, einen geschwächten, aber doch nicht genauer definierbaren Zustand der Nährpflanze voraus.

Beispiele sind die Schwärzepilze des Getreides und der Rüben. Auch gewisse Ascomyceten, die an kränkelnden Kirschen, Eiben, Pyramidenpappeln usw. leben, hat man hierher gerechnet. Die Infektionsbedingungen dieser Organismen sind noch wenig erforscht, im allgemeinen aber auch der Forschung weit schwieriger zugänglich als die der echten Parasiten.

ζ) Spezialisierung. Eine eigentümliche und wichtige Begleiterscheinung des Parasitismus ist die Spezialisierung. Sie besteht in der engen Anpassung der Parasiten an einen einzigen oder an wenige ganz bestimmte Wirte. Einzelheiten sind in dem Artikel „Parasiten" zu vergleichen. Den Befall verschiedenartiger Wirte durch denselben Schmarotzer bezeichnet man als Pleophagie. Pleophagie und Spezialisierung treten mitunter kombiniert auf (Cronartium asclepiadeum).

η) Sortenempfänglichkeit. Betrachtet man die elementaren Arten oder die Sorten einer Nährpflanzenspecies in bezug auf ihr Verhalten zu demselben Schmarotzer, so ergibt sich ein weiteres wichtiges, der Spezialisierung verwandtes Verhältnis. Wie der Schmarotzer eine Auswahl trifft unter verwandten Gattungen oder unter den Arten einer einzigen Gattung, so wählt er auch unter den elementaren Arten, Varietäten oder Sorten derselben Species und befällt davon einige leicht und reichlich, andere schwächer, noch andere vielleicht wenig oder gar nicht. Man kann diese Erscheinung als Sortenempfänglichkeit bezeichnen. Sie bedingt eine Prädisposition gewisser Kulturrassen gegen den Pilzbefall, aber in einem ganz anderen Sinne als der Ausdruck oben gebraucht wurde. Sie ist für den praktischen Pflanzenbau von hervorragender Wichtigkeit und ergibt für die Pflanzenzüchtung die Aufgabe, durch Auslese oder durch Kreuzung unempfängliche oder wenig empfängliche Sorten zu gewinnen.

ϑ) Wirtswechsel. Ueber die Erscheinung des Wirtswechsels (Heterözie), vergleiche man das unten über die Rostpilze gesagte und die Artikel „Parasiten" und „Pilze".

B. Die Krankheiten im einzelnen, nach den Erregern geordnet.

1. Myxomyceten (Plasmodiophora). Von Krankheiten, die auf Myxomyceten zurückzuführen sind, kennt man mit Sicherheit nur eine, und zwar die durch Plasmodiophora Brassicae Wor. erzeugte Kohlhernie, eine Krankheit, die auf allen Kohlarten, außerdem auf einigen anderen Cruciferen vorkommt und dem Kohlbau empfindlichen Schaden zufügt.

An den Wurzeln der Kohlpflanzen bilden sich kleinere und größere, in extremen Fällen bis faustgroße Geschwülste, die der Pflanze viel Nahrung entziehen (Fig. 10). Später gehen diese in faulige Zersetzung über. Dabei gelangen die Sporen in den Boden. Bei ihrer Keimung schlüpfen Amöben aus, die auf nicht näher bekannte Weise in die Wurzeln der jungen Pflanzen eindringen. Die infizierten Zellen vermehren sich durch Teilung und bilden schließlich die Hauptmasse in der entstehenden Geschwulst. Die sich gleichfalls vermehrenden Amöben füllen die Zellen zuletzt ganz aus und verschmelzen dann zu einem Plasmodium, das später in die Sporen zerfällt.

Fig. 10. Kohlhernie an weißen Rüben. Aus Hartig, Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten.

Digitized by Google

Verseuchter Boden läßt in den nächsten Jahren keine gesunden Kohlpflanzen aufkommen; mitunter findet die Infektion schon in den Saatkästen statt. Als Verhütungsmaßregeln sind Fruchtwechsel und Bodendesinfektion empfohlen worden.

Das Wesen der übrigen Pflanzenkrankheiten, bei denen man Myxomyceten als Erreger vermutet hat, z. B. der „Brunissure" und „Rougeole" des Weinstocks (Pseudocommis Vitis Debray), ferner der kalifornischen Rebenkrankheit (Plasmodiophora californica Viala et Sauv.) usw., ist noch dunkel.

2. Bakterien. Bei einer ziemlich großen Zahl von Pflanzenkrankheiten hat man Bakterien in den erkrankten Geweben gefunden, teils in den Interzellularräumen, teils auch in den Zellen selbst. Mitunter ist ein bakterienhaltiger Schleim in den Gefäßbündeln enthalten. Erweichung, Braunfärbung und mehr oder weniger weitgehende Zersetzung der Gewebe sind mit dem Vorhandensein der Bakterien verknüpft.

Die Existenz bakterieller Pflanzenkrankheiten wurde vor nicht allzu langer Zeit noch bestritten (s. A. Fischer, Vorles. über Bakt. 1903). Gegenwärtig ist indessen für mehrere Fälle das Eintreten der Infektion ohne Verletzung der Pflanze nachgewiesen, so daß wenigstens diese als echte Infektionskrankheiten angesehen werden können.

Am Mais wurde eine Krankheit beobachtet, „corn wilt" genannt, bei der zuerst die Blätter und dann die ganze Pflanze langsam welken und vertrocknen, ohne daß äußerlich etwas Abnormes zu sehen ist. Beim Zerschneiden der Stengel quillt aus den Gefäßbündeln ein gelber bakterienhaltiger Schleim hervor. Man hat diese Krankheit künstlich hervorgerufen, indem man Tropfen einer Reinkultur des Bakteriums [Pseudomonas Stewarti E. F. Smith] auf die Wasserspalten am Rande der Blätter brachte oder auch die Pflanzen mit der Reinkultur besprühte. Auch die Braunfäule der weißen Rüben (Brassica campestris) läßt sich künstlich hervorrufen, indem man die Bakterien [Pseudomonas campestris (Pamm.) E. F. Smith] in die Wassertröpfchen bringt, die aus den Wasserspalten ausgeschieden werden. Es werden dann die Gefäßbündel in den Blättern gebräunt. Die Krankheit vermag von den Blättern bis in die Wurzeln vorzudringen und von diesen aus wieder die Blätter zu ergreifen.

In den meisten Fällen hat man freilich bei den Infektionsversuchen Wunden als Eingangspforten benutzt, so daß die in Betracht kommenden Bakterien nur als Wundparasiten oder Schwächeparasiten erscheinen. Dennoch rufen sie charakteristische Symptome hervor, und es ist auch nicht ausgeschlossen, daß man in einzelnen Fällen noch die Möglichkeit direkten Eindringens nachweisen wird.

In diese Gruppen gehören der gelbe Rotz der Hyazinthen [Pseudomonas Hyacinthi (Wakk.) E. F. Smith], der vielleicht auch in den Kulturen der Gärtner beim Untersuchen der Zwiebeln mit dem Messer übertragen wird, die Gummikrankheit des Zuckerrohres [Pseudomonas vascularum (Cobb.) Mig.], eine Krankheit der kultivierten Calla (Bacillus aroideae Townsend), die Schwanzfäule der Futterrüben (Bacillus Bussei Migula), der Bakterienbrand der Kirschbäume (Bacillus spongiosus Aderh. et Ruhl). das Mal nero der Weinstöcke (Bacillus vitivorus Bacc. = B. Baccarinii Macchiati), die Bakterienkrankheit des Flieders (Pseudomonas Syringae Beij.) und andere.

Manche Pflanzen werden von mehreren verschiedenen Bakterienkrankheiten befallen.

Ein Beispiel sind die Kartoffeln, über deren Krankheiten allerdings die Meinungen noch wenig geklärt sind. Für die Naßfäulen und Trockenfäulen der Knollen sollen teils spezifische Erreger, z. B. Bacillus solaniperda Migula, verantwortlich sein, teils Gärungsbakterien (z. B. Clostridium butyricum Prazm.), die unter besonderen Umständen zu Parasiten werden. Als Ursache der Schwarzbeinigkeit der Stengel ist Bacillus atrosepticus van Hall oder vielleicht mit mehr Recht B. phytophthorus Appel angenommen worden. Auch den äußerlich die Knollen angreifenden Schorf führen einige Forscher auf Bakterien zurück.

Mit krebsartigen Wucherungen verbundene Bakteriosen sind für den Oelbaum und die Esche beschrieben worden. In den Schleimflüssen der Bäume, die von Wunden ausgehen kommen neben anderen Organismen auch Bakterien vor.

3. Echte Pilze. Die echten Pilze oder Eumyceten liefern die bei weitem größte Zahl und vor allem die größte Mannigfaltigkeit der bis jetzt bekannten Erreger von Pflanzenkrankheiten.

Das Mycel, der Vegetationskörper der Pilze, dringt bei den krankheitserregenden Arten in der Regel in die Gewebe der Nährpflanze ein. Hier wuchert es in den Interzellularräumen (Fig. 1), während es in die Zellen mitunter Saugfäden, Haustorien, sendet (Fig. 9 und 11), oder es dringt selbst in die Zellen ein (Fig. 3). Selten wächst es an der Oberfläche der Pflanze ganz außerhalb der Gewebe und sendet nur Haustorien in die Epidermiszellen.

Die Vermehrung der Pilze, die Uebertragung derselben auf die Nährpflanzen und die Infektion dieser letztgenannten findet in der Regel durch die verschiedenen Formen der Sporen und Konidien statt, die entweder frei am Mycel oder in mannigfaltigen Fruchtkörpern entstehen. Meist sind Einrichtungen vorhanden, welche die Ablösung der Sporen und Konidien bewirken, oder durch welche diese mit einer gewissen Kraft fortgeschleudert und in die Luft befördert werden. Der Wind ist das wichtigste Ver-

Digitized by Google

breitungsmittel. Manche Sporenformen lösen sich im Wasser voneinander (Pyknosporen) oder entstehen erst unter Einwirkung des Wassers (Schwärmsporen); andere werden aus den befallenen Geweben nicht eher

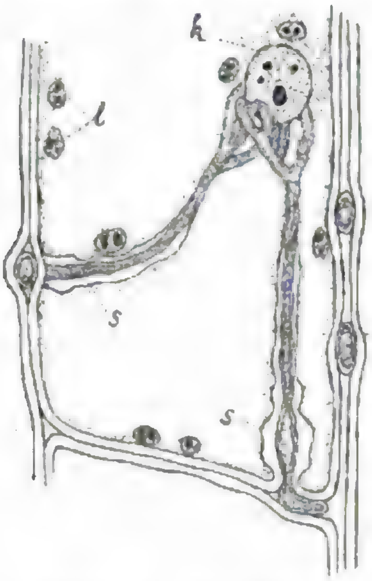


Fig. 11. Haustorien von Puccinia Adoxae, in einer Rindenzelle von Adoxa Moschatellina, am Grunde von einer Zellulosescheide (s) umgeben, nach dem Zellkern (k) hinwachsend. l Leukoplaste. Nach v. Guttenberg, Beiträge zur physiologischen Anatomie der Pilzgallen.

frei, als bis diese verfaulen. Auch Tiere kommen als Sporenverbreiter in Betracht. Die Keimung erfolgt durch Keimschläuche; diese dringen bei den parasitischen Arten direkt durch die Epidermis oder durch die Spaltöffnungen ein. Mitunter werden vorher Appressorien gebildet, mit denen sich die keimende Spore an der Epidermis befestigt (vgl. Fig. 6 bis 9). Manche Sporen sind sofort, andere erst nach einer Ruheperiode oder nach der Ueberwinterung keimfähig.

In einzelnen Fällen findet die Infektion durch weiter wucherndes Mycel statt. Einzelne Pilze bilden hartwerdende Dauermycelien (Sklerotien), die nach einer Ruheperiode in Fruchtkörper oder auch nur in gewöhnliches Mycel auswachsen (Fig. 12 und 13).

Weitere Einzelheiten sind in dem Artikel „Pilze" zu vergleichen.

Die wichtigsten pilzparasitären Krankheiten sollen im folgenden im Anschluß an die systematische Einteilung der Pilze besprochen werden.

3a) Phycomyceten. Unter den Phycomyceten oder Algenpilzen, für die das ungegliederte Mycel ein charakteristisches Merkmal ist, kommen als eigentliche Krankheitserreger die Chytridineen und ein großer Teil der Oomyceten in Betracht. Ihre Verbreitung geschieht durch Schwärm-

Fig. 12. a) Sklerotien von Sclerotium Tuliparum einer kranken Tulpenzwiebel aufsitzend. b) Dieselben, reif und isoliert.

sporen oder durch Konidien, ihre Erhaltung während ungünstiger Zeiten durch oft geschlechtlich erzeugte Dauersporen.

Die erste Gruppe, die der Chytridiaceen, enthält größtenteils Schmarotzer niederer Wasserpflanzen, z. B. Chytridium Olla A. Br. in Oedogonien, Ancylistes Closterii Pfitzer in Closterien. An den Blättern höherer Pflanzen erzeugen die Synchytrium-Arten gallenartige Knötchen von lebhafter Farbe, z. B. S. Anemones Woronin, S. Taraxaci de Bary und Wor., und andere. Chrysophlyctis endobiotica Schilbersky ist der Erreger einer eigentümlichen Kartoffelkrankheit (vgl. den Artikel „Pilze", Fig. 3 und 4).

Von den Saprolegniaceen ist nur die Gattung Aphanomyces zu nennen. A. laevis de Bary bringt an Rüben einen Wurzelbrand hervor.

Digitized by Google

Ausschließlich Parasiten und Erreger verderblicher Krankheiten sind die Peronosporaceen. Ihr Mycel wächst interzellular und sendet Haustorien in die Zellen.

Fig. 13. Desgleichen von Botrytis parasitica auf einer sonst tadellosen, aus Holland bezogenen Tulpenzwiebel. Zugleich Beispiel der Verschleppung von Krankheitskeimen durch den Handel. Aus Klebahn, Jahrb. Hamburg. wiss. Anstalten XXII.

Phytophthora infestans (Mont.) de Bary erzeugt die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffeln, die, vielleicht schon 1830 in Europa vorhanden, sich hier seit 1845 sehr verbreitet hat.

Braune Blattflecken, an deren Rande ein weißer Anflug von Konidienträgern sichtbar ist, breiten sich rasch aus und führen oft zum Absterben des ganzen Laubes, besonders in nassen Sommern, da die Keimung der Konidien, welche Schwärmsporen bilden, nur im Wasser stattfindet. Die an den Boden gelangenden Konidien können auch die Knollen infizieren. Es entsteht daher in feuchten Jahren eine Knollenkrankheit, die, wenn sie rein auftritt, eine Trockenfäule ist, gewöhnlich aber durch das Hinzutreten anderer Organismen kompliziert wird. Die Erhaltung des Pilzes bis in die nächste Vegetationsperiode scheint ausschließlich mittels der kranken Knollen zu geschehen, aus denen erkrankte Pflanzen hervorgehen. Am meisten leiden die späten Kartoffeln; außerdem ist aber eine merkliche Verschiedenheit in der Empfänglichkeit der Sorten vorhanden. Gegenmittel sind Auswahl trocken gelegener Felder, Auswahl widerstandsfähiger Sorten und Verwendung gesunden Saatgutes. Bespritzen mit Bordeaux-Brühe soll das Laub erheblich länger grün erhalten und auch den Knollenertrag steigern. Der Pilz geht auch auf die Tomaten (Solanum Lycopersicum) über.

Eine interessante Krankheit des zum Treiben bestimmten Flieders ruft Phytophthora Syringae Kleb. hervor. Der Pilz dringt in die ruhenden Winterknospen als echter Parasit ein und gelangt von dort auch in die Rinde der Zweigspitzen, während er die Rinde älterer Zweige nur als Wundparasit befällt. Er gab die Veranlassung zu der Feststellung, daß die bisher unter dem Namen Ph. omnivora de Bary zusammengefaßten Pilze Ph. Cactorum Leb. et Cohn, der eine Fäule der Cacteen verursacht, und Ph. Fagi R. Hartig, der das Absterben der Buchenkeimlinge bewirkt, trotzdem sie sich teilweise auf dieselben Wirte übertragen lassen, doch verschieden sind. Die feinen Unterschiede treten besonders in der Reinkultur hervor.

Bei den durch die Gattung Peronospora (im weiteren Sinne) erzeugten Pflanzenkrankheiten entstehen auf dem Laube gelblich oder blaß verfärbte Flecken, die erst allmählich und bei stärkerem Befall zum Absterben des Laubes führen. Auf den Flecken treten die zierlich verzweigten, nicht sympodial wie bei Phytophthora gebauten Konidienträger hervor, während in dem mitunter hypertrophierten Gewebe in der Regel Oosporen gebildet werden.

Die wichtigste der Peronospora-Krankheiten ist der sogenannte „falsche Mehltau“ des Weinstocks, verursacht durch Plasmopara viticola (Berk. et Curt.) Berl. et de Toni.

Die Krankheit wurde in Europa zuerst 1878 in Frankreich beobachtet. Sie hemmt die Entwickelung sehr und hindert die Ausbildung der Trauben, namentlich wenn sie Jahr für Jahr wieder auftritt. In den weinbauenden Gegenden ist daher die Bordelaiser Brühe, die sich als Gegenmittel gut bewährt hat, sehr allgemein in Gebrauch. Außerdem empfiehlt sich die Beseitigung des erkrankten Laubes wegen der darin enthaltenen Oosporen (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 13).

Von anderen Peronospora-Pilzen seien genannt: P. parasitica (Pers.) Tul. auf Kohlarten, P. effusa (Grev.) Rabenh. auf Spinat, P. Schachtii Fuck. an Runkelrüben, Bremia Lactucae Regel auf Lattich usw. Aus der verwandten Gattung Pythium ist P. de Baryanum Hesse einer der Erreger des Wurzelbrandes der Rüben. Mehr mykologisch als pathologisch interessant ist die Gattung Cystopus (Albugo) (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 15).

Die dritte Hauptabteilung der Phycomyceten, die der Zygomyceten, enthält fast nur Saprophyten. Mucor-Arten dringen gelegentlich in das Gewebe reifer Früchte ein. Piptocephalis ist ein Parasit auf Mucor (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 19).

3b) Ascomyceten. Die Ascomyceten oder Schlauchpilze sind durch den Besitz der Ascosporen ausgezeichnet, die gewöhnlich zu je 8 in großen Zellen, den Asci oder Schläuchen entstehen. Die meisten Ascomyceten bilden außerdem Konidien. Diese treten auf den kranken Pflanzenteilen in der Regel zuerst ausschließlich auf, sie verbreiten die Krankheit und überwintern sie sogar in manchen Fällen, während die Ascosporen oft erst später, auf den toten

Digitized by Google

Ueberresten, erscheinen und mitunter nur spärlich gebildet werden. Der Nachweis des Zusammenhangs zwischen Konidien und Ascosporen, der für die systematische Beurteilung des Krankheitserregers und für die vollständige Feststellung seiner Lebensgeschichte wichtig ist, kann meist nur durch mühsame, mit Hilfe von Infektionsversuchen und Reinkulturen durchzuführende Untersuchungen erbracht werden (vgl. Fungi imperfecti S. 640).

α) Aspergillaceen. Von den Aspergillaceen können Aspergillus- und Penicillium-Arten an Pflanzenteilen mit herabgesetzter Lebensenergie gelegentlich zerstörend auftreten, ohne eigentlich Parasiten zu sein (vgl. Zygomyceten und den Artikel „Pilze", Fig. 40 u. 41).

β) Erysiphaceen. Die Meltaupilze (Erysiphaceae), echte Parasiten, sind durch das nur an der Oberfläche der Blätter und Zweige sich ausbreitende und diese mit einem schimmel- oder mehlartigen Ueberzuge bedeckende Mycel ausgezeichnet, das durch Haustorien, die in die Epidermiszellen eindringen, der befallenen Pflanze Nahrung entnimmt. Der mehlartige Charakter des Ueberzugs wird durch die Konidien hervorgebracht, die in kurzen Ketten an dem Mycel entstehen und die Krankheit rasch verbreiten. Die Ueberwinterung geschieht durch die Perithecien, in denen im Frühling die Ascosporen reifen, und außerdem in einigen Fällen durch das Mycel, das sich an holzigen Teilen erhält.

Zahlreiche Arten werden nach der Beschaffenheit der Perithecien unterschieden. Das Krankheitsbild ist aber bei allen ein sehr gleichmäßiges. Die Blätter bleiben ziemlich lange am Leben, vergilben aber und verkrümmen sich oft. Obgleich der Pilz nur oberflächlich wächst, ist doch der entstehende Schaden ein sehr beträchtlicher.

Beispiele sind Sphaerotheca pannosa (Wallr.) Lév. auf Rosen, Sphaerotheca Cartagnei Lév. auf Hopfenblättern, Erysiphe graminis DC. an Getreide und Gräsern, Podosphaera leucotricha (Ell. et Ev.) Salmon, der Meltau des Apfelbaumes u. a. Als sehr gefährlich wird der amerikanische Stachelbeermeltau [Sphaerotheca mors uvae (Schwein.) Berk. et Curt.] angesehen, der erst vor einigen Jahren nach Europa eingeschleppt worden ist (Fig. 14). Meltauarten, deren Zugehörigkeit zu Perithecien nicht bekannt ist, werden als Oidium bezeichnet. Wichtig ist Oidium Tuckeri Berk., das den Aescherich oder die echte Meltaukrankheit der Reben verursacht und zeitweilig erheblichen Schaden in den Weinbergen anrichtet, indem es die Blätter und namentlich die Beeren verdirbt (vgl. den Artikel „Pilze", Fig. 42). Die lange vergeblich gesuchte Perithecienform scheint jetzt in Uncinula necator (Schw.) Burr. gefunden zu sein; sie ist aber in Europa sehr selten und hier offenbar ohne Bedeutung. Seit einigen Jahren leiden vielerwärts in Europa die Eichen an einem Meltau, zu dem gleichfalls erst kürzlich in einer Microsphaera-Art Perithecien aufgefunden worden sind.

Bestäuben mit Schwefelblumen und Bespritzen mit Alkalisulfiden sind als Gegenmittel gegen Meltau in Gebrauch.

γ) Perisporiaceen. Die zu den Perisporiaceen gehörigen Rußtaupilze (Capnodium, Fumago), die schwarze rußartige Ueberzüge auf den Blättern, besonders der Bäume, bilden und oft im Gefolge von Honigtau auftreten, sind ohne wesentliche pathologische Bedeutung.

δ) Hypocreaceen. In die Gruppe der Hypocreaceen, die durch lebhaft gefärbte Ascosporengehäuse ausgezeichnet ist, gehört Claviceps purpurea (Fr.) Tul., dessen in den Aehren des Roggens an Stelle der Körner gebildete Sklerotien (Dauermycelien)

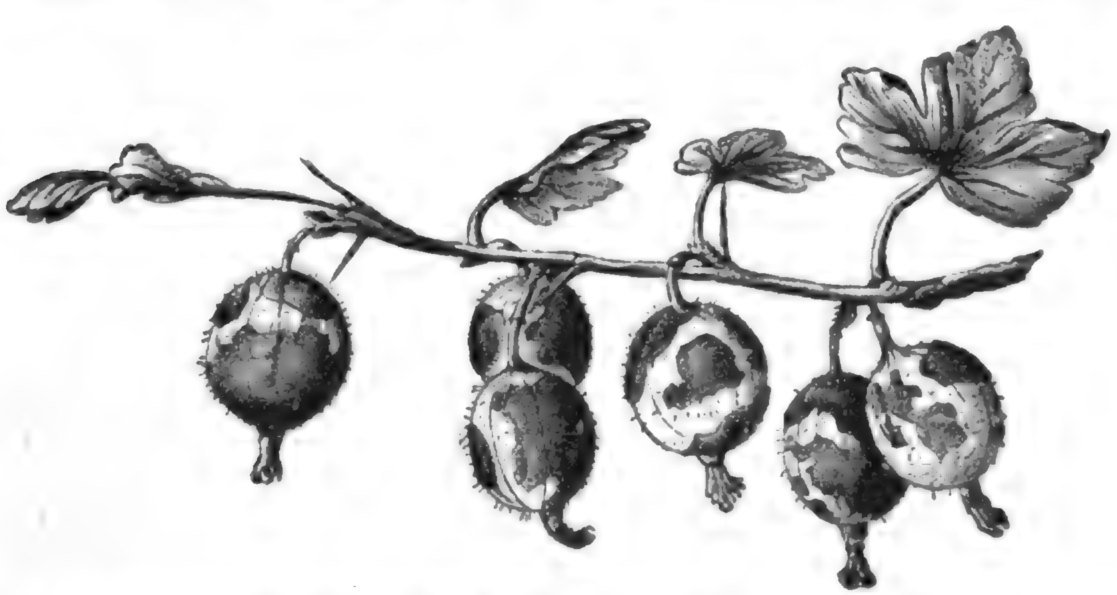


Fig. 14. Vom amerikanischen Stachelbeermeltau befallene Stachelbeeren. Aus Aderhold, Flugblatt 35 der Kaiserl. Biol. Anstalt in Dahlem.

Digitized by Google

unter dem Namen Mutterkorn bekannt sind (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 46).

Aus den im Erdboden überwinterten Sklerotien wachsen zur Blütezeit des Roggens gestielte kugelige Fruchtkörper hervor und schleudern die winzigen fadenförmigen Ascosporen aus. Diese infizieren die Fruchtknoten. Zunächst entsteht unter dem Fruchtknoten die Konidienform Sphacelia segetum Lév., deren Keime, in einem die Insekten anlockenden süßen Safte enthalten, weitere Infektionen hervorzurufen vermögen. Später entwickelt sich das Mycel, Sphacelia und Fruchtknotenreste emporhebend, zu den hornförmigen, schwarzbraunen, weit zwischen den Spelzen hervorragenden Sklerotien. Das Mutterkorn enthält kräftig wirkende Gifte (Ergotin u. a.) und findet Anwendung in der Frauenheilkunde (Secale cornutum); der fortgesetzte Genuß mutterkornhaltigen Mehles ruft die Kriebelkrankheit hervor. Zur Bekämpfung des Pilzes empfiehlt es sich, da die Sklerotien beim Mähen leicht ausfallen, die Felder vor dem Mähen abzusuchen. Dies kann auch deshalb vorteilhaft sein, weil das Mutterkorn von den Apotheken gekauft wird. Einige wildwachsende Gräser beherbergen dieselbe Pilzform wie der Roggen.

Die Gattung Nectria enthält gefährliche Baumschädlinge. Sie dringen durch Wunden oder von abgestorbenen Teilen aus in die Gewebe ein.

Nectria cinnabarina (Tode) Fr. findet sich meist auf toten Zweigen, bringt aber zur geeigneten Jahreszeit an Bäumen mit weichem Holz, wie Ahornen, Linden, Magnolien usw. oft lange Aststrecken rasch zum Absterben. Die roten Konidienpolster (Tubercularia) folgen dem Mycel bald, später erscheinen mitunter die dunkelroten Perithecien. Nectria ditissima Tul. (jetzt N. galligena genannt) erzeugt Krebsstellen an Buchen (Fig. 15), Obstbäumen usw. Ihre Entstehung beruht darauf, daß der Pilz die Ueberwallungswulste, durch welche der Baum die Wunde zu schließen sucht, immer wieder abtötet. So können dicke Anschwellungen der Zweige zustande kommen, welche die Leitung der Säfte erschweren, und an denen seitlich die offene Wunde liegt. Die weißen Polster des Fusidium candidum Link sind die zugehörige Konidienform.

Andere Hypocreaceen sind Polystigma rubrum (Pers.) DC., der Urheber der roten Fleischflecken der Pflaumen, ein echter Parasit, und der Erstickungsschimmel der Gräser, Epichloë typhina (Pers.) Tul.

ε) Sphaeriales. Unter den krankheiterregenden Sphaeriales oder Pyrenomyceen im engeren Sinne gibt es verhältnismäßig wenige, welche nur die für die Gruppe charakteristischen, kleinen, rundlichen, braun oder schwarz gefärbten Ascosporenfrüchte oder Perithecien besitzen. Die meisten bilden auf den kranken Pflanzen zunächst ausschließlich Konidienfruktifikationen.

Als Beispiele von Pilzen, die auf den kranken Blattflecken direkt ihre Perithecien entwickeln, seien Stigmatea Robertiani Fr. auf Geranium Robertianum und Leptosphaeria herpotrichoides de Not., der Halmbrecher des Roggens genannt.

Interessanter sind diejenigen Krankheitserreger, die zuvor Konidien bilden.

Die als Fusicladium bezeichneten Konidienformen rufen weitverbreitete und schädliche Krankheiten an Obstbäumen hervor, besonders F. dendriticum (Wallr.) Fuck. auf dem Apfelbaum und F. pirinum (Lib.) Fuck. auf dem Birnbaum. Die Blätter zeigen olivenbraune, sammetartige, oft etwas verkrümmte Flekken, auf den Früchten treten schwärzliche, scharf begrenzte, etwas eingesunkene Krusten auf, auf denen sich gleichfalls ein sammetartiger Hauch von Konidien findet („Schorf“- oder „Rostflecken“). Die Früchte bleiben zurück und werden unansehnlich; Birnen reißen nicht selten auf und vertrocknen. Als zugehörige Perithecienformen sind Venturia inaequalis (Cooke) Aderh. und V. pirina Aderh. festgestellt worden, die sich auf den überwinterten Blättern finden. Eine andere Art der Ueberwinterung geschieht durch die auf die Rinde der Zweige übergehenden Konidienlager, die im Frühjahr fortfahren Konidien zu bilden („Grind“ der Zweige). Als Bekämpfungsmittel hat sich Bordelaiser Brühe bewährt.

Fig. 15. Nectria-Krebs an Rotbuche. Aus v. Tubeuf, Pflanzenkrankheiten.

Zu der Gattung Mycosphaerella scheinen blattfleckenbildende Konidienformen aus der Formgattung Septoria und der trotz des Fehlens des Gehäuses wahrscheinlich nahe verwandten Gattung Phleospora zu gehören. Festgestellt ist dies einstweilen für M. sentina (Fuck.) Schröt. (Konidien: Septoria piricola Desm.) auf Birnbaumblättern und M. Ulmi Kleb. [Phleospora Ulmi (Fr.) Wallr.] auf Ulmen und einige andere. Sowohl Ascosporen wie Konidien infizieren leicht die gesunden Blätter-

Digitized by Google

Sehr mannigfaltige Verhältnisse hinsichtlich der Zusammengehörigkeit von Ascosporen- und Konidienformen sind in der Gattung Gnomonia vorhanden. G. Veneta (Sacc. et Speg.) Kleb. ist der Urheber einer häufigen, stellenweise sogar verheerend auftretenden Krankheit der Platanen. Sie verursacht braune, den Adern folgende Flecken auf den Blättern (Fig. 16) und bringt auch jüngere Zweige und von diesen aus die Frühjahrstriebe zum Absterben. Auf den kranken und toten Blättern und in der Rinde erscheinen mehrere Konidienformen [Gloeosporium nervisequum (Fuck.) Sacc., Gl. Platani (Mont.) Oud., Sporonema Platani Bäumler, Discula Platani (Peck.) Sacc. usw.], die alle dieselben Konidien enthalten (Fig. 17). Die Perithecien findet man spärlich im Frühjahr auf den Ueberresten der kranken Blätter. Die Infektion findet aus nicht aufgeklärten Gründen ziemlich schwierig statt; wenn das nicht der Fall wäre, würden die Platanen in kurzer Zeit an dem Pilze zugrunde gehen. Andere Gnomonia-Arten infizieren ihre Wirte leicht, so G. leptostyla (Fr.) Ces. et de Not., die auf den Walnußblättern Flecken erzeugt, auf denen die Konidienformen Marssonina Juglandis (Lib.) Magn. und Leptothyrium Juglandis Rabenh. auftreten, und G. padicola (Lib.) Kleb., die auf Blättern von Prunus Padus braune Flecken mit der merkwürdigen Konidienform Asteroma Padi DC. hervorbringt. Wesentlich anders verhält sich G. erythrostoma (Pers.) Auersw., der Urheber einer gefährlichen Krankheit der Kirschen. Auf den kranken Blättern werden keine Konidien gebildet, sondern nur Spermogonien. Im Frühjahr reifen auf den Blättern, die während des Winters an den Bäumen sitzen bleiben, die Perithecien, deren Sporen das junge Laub infizieren. Die Krankheit hat als Beispiel für die Möglichkeit erfolgreicher Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten eine gewisse Berühmtheit erlangt. Sie trat in den Jahren 1879 bis 1886 im Altenlande an der Unterelbe mit solcher Heftigkeit auf, daß sie den großartigen Kirschenbau dieser Gegend in Gefahr brachte, wurde aber durch strenge Durchführung der Maßregel, alles kranke Laub während des Winters zu entfernen, in kurzer Zeit völlig beseitigt.

Einige weitere Pilze dieser Gruppe, die als Ursachen bemerkenswerter Krankheiten angesehen werden, sind die folgenden: Trichosphaeria Sacchari Mass., Erreger einer Zuckerrohrkrankheit, die vielleicht der „Ananasziekte" entspricht, Rosellinia necatrix (R. Hart.) Berl., Erreger des Wurzelschimmels des Weinstockes und der Obstbäume, Guignardia Bidwellii (Ell.) Viala et Rav., Erreger des gefährlichen Black-rot (Schwarzfäule) der Trauben, zu der man Phoma uvicola Berk. et Curt. als Konidienform stellt, Charrinia Diplodiella (Speg.) Viala et Rav., Erreger des Rot blanc oder White rot der Trauben, mit der Konidienform Coniothyrium Diplodiella (Speg.) Sacc. usw.

ζ) Dothideaceen. Aus der Gruppe der Dothideaceen erregt Plowrightia morbosa (Schwein.) Sacc. in Nordamerika eine gefürchtete Krankheit der Pflaumen- und Kirschbäume, den black knot, krebsartige, schwarzgefärbte Wucherungen an den Zweigen. Eine heimische Art, Phyllachora graminis, erzeugt schwarze Schwielen auf den Blättern verschiedener Gräser.

Fig. 16. Blattfleckenkrankheit der Platane (Gloeosporium nervisequum). Original.

η) Hysteriineen. In die Gruppe der Hysteriineen, die eine Art Verbindungsglied zwischen den Pyrenomyceten und den Discomyceten darstellt, gehören einige die Nadeln von Coniferen bewohnende Pilze, die man als Ursache von Schüttekrankheiten ansieht.

Das als Schütte bezeichnete massenhafte Abwerfen der Nadeln scheint in manchen Fällen allein durch klimatische Einflüsse hervorgebracht zu werden. In anderen Fällen sind aber sicher Pilze dabei beteiligt, die die gesunden oder vielleicht auch die in ihrer Lebensenergie bereits etwas gestörten Nadeln befallen, sie gelb färben, abtöten und nach dem Abfallen auf ihnen ihre Fruchtkörper reifen. Die hauptsächlichsten Arten sind Lophodermium Pinastri (Schrad.) Chev., auf Kiefern (Fig. 18), und L. macrosporum (Hart.) Rehm, auf Fichten.

Digitized by Google

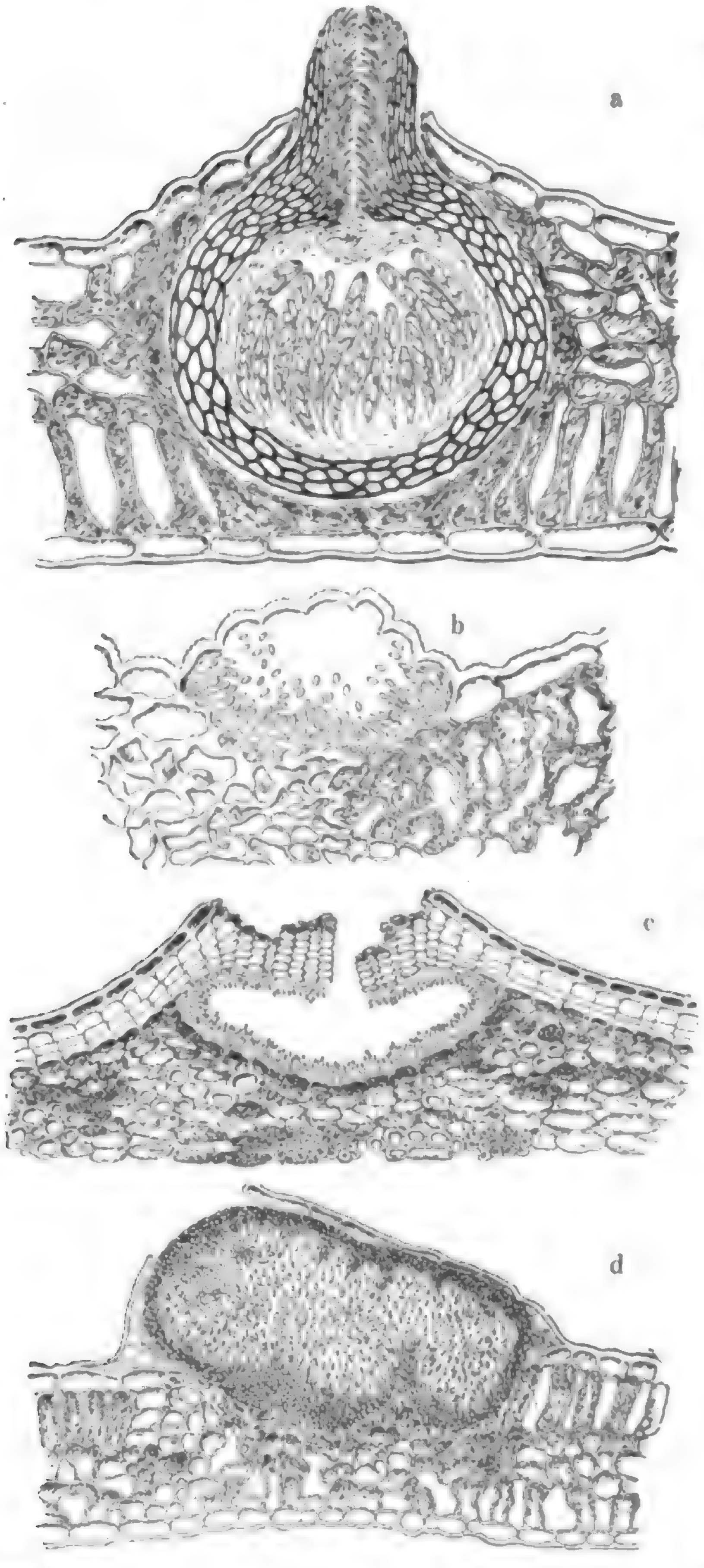


Fig. 17. Gnomonia Veneta (a) und ihre Konidienformen Gloeosporium nervisequum (b) auf lebenden Blättern, Sporonema Platani (c) auf faulenden Blättern, Discula Platani (d) in der Rinde unter Lenticellen. Nach Klebahn, Jahrb. wiss. Bot. XLI.

ϑ) Phacidiineen. Aus der Gruppe der Phacidiineen ist Rhytisma acerinum (Pers.) Fries zu nennen, das auf den Ahornblättern große runde schwarze Krusten erzeugt. Die im Frühjahr reifenden Ascosporen infizieren leicht die jungen Blätter.

ι) Pezizaceen. Zahlreiche wichtige Erreger von Pflanzenkrankheiten enthalten die Pezizaceen, eine Hauptabteilung den typischen Discomyceten.

Ein Beispiel einer Krankheit, bei der bis vor kurzem nur Konidien gefunden waren, ist die Blattfleckenkrankheit der Johannisbeeren.

Die kleinen Pilzflecken treten oft so massenhaft auf, daß die Blätter vertrocknen und abfallen. Auf jedem Flecken findet sich ein Konidienlager des Gloeosporium Ribis (Lib.) Mont. et Desm., auf dem abgefallenen Laube erscheinen im Frühjahr die winzigen Apothecien der Pseudopeziza Ribis Kleb. und außerdem oft noch keimfähige Konidien (Fig. 19).

Ein verwandter Pilz, Pseudopeziza Trifolii (Bernh.) Fuck., der eine Blattfleckenkrankheit des Klees erzeugt, bildet seine Apothecien bereits auf dem lebenden Blatte.

Fig. 18. Kiefernnadeln, a einjährig mit Infektionsflecken, b zweijährig, abgestorben mit reifen (x) und entleerten (y) Perithecien von Lophodermium Pinastri im April. Aus Hartig, Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten.

Digitized by Google

Dasyscypha Willkommii Hartig ist der Begleiter einer gefährlichen Krankheit der **Lärchen**.

Das Mycel lebt interzellular in der Rinde, außerdem innerhalb der Siebröhren und dringt bis in das Mark vor. Der gesund gebliebene Teil der Rinde grenzt sich durch Korkschichten ab, hier geht das Dickenwachstum in verstärktem Maße weiter; doch ergreift der Pilz alljährlich einen größeren Teil des Zweigumfanges. So entstehen sich vergrößernde Krebsstellen, bis zuletzt der ganze Zweig abstirbt. Auf dem kranken Gewebe erscheinen die roten, weiß gerandeten Apothecien (Fig. 20). Die Infektion scheint von Wunden oder anderen Dispositionszuständen der Lärche abhängig zu sein, auf welche die klimatischen Verhältnisse von Einfluß sind. In den Alpen, wo die Krankheit mit der Lärche heimisch ist, richtet sie wenig Schaden an. Dagegen ist sie bei der Kultur der Lärche im flachen Lande ein gefährlicher Feind geworden.

Die Arten der Gattung **Sclerotinia** haben das gemeinsame Merkmal, daß sie Dauermycelien (**Sklerotien**) bilden, die nach einer Ruheperiode, meist nach der Ueberwinterung, unter Bildung von Apothecien auskeimen.

Eine Gruppe dieser Pilze verwandelt die **Früchte** verschiedener Pflanzen in Mumien, die als Sklerotien fungieren.

Hierher gehören Sclerotinia baccarum (Schröt.) Rehm und andere auf Vaccinium-Arten, S. aucupariae Ludw. auf Eberesche, S. Betulae Wor. auf Birken usw. (vgl. den Artikel „Pilze", Fig 51 und 52). Die Ascosporen infizieren das Laub, auf den entstehenden braunen Flecken werden in Ketten Konidien gebildet. Diese befallen, in die Narben ein keimend, wieder die Früchte.

Nahe verwandt sind die Monilia-Krankheiten der Obstbäume. Besonders schädlich ist die Monilia-Krankheit der Kirschen (S. cinerea Schröt.), bei welcher der Pilz von den Narben der Blüten aus bis in die Zweige eindringt, die er auf weite Strecken abtötet. Die trockenen Zweige mit den steif nach unten abstehenden Blütenmumien geben das charakteristische Krankheitsbild.

Einem anderen Typus gehört die **Sklerotienkrankheit der Hyazinthen** an, die durch **Sclerotinia bulborum** (Wakker) **Rehm**. verursacht wird.

Die kranken Pflanzen fallen durch Gelbfärbung des Laubes auf. In den Zwiebeln finden

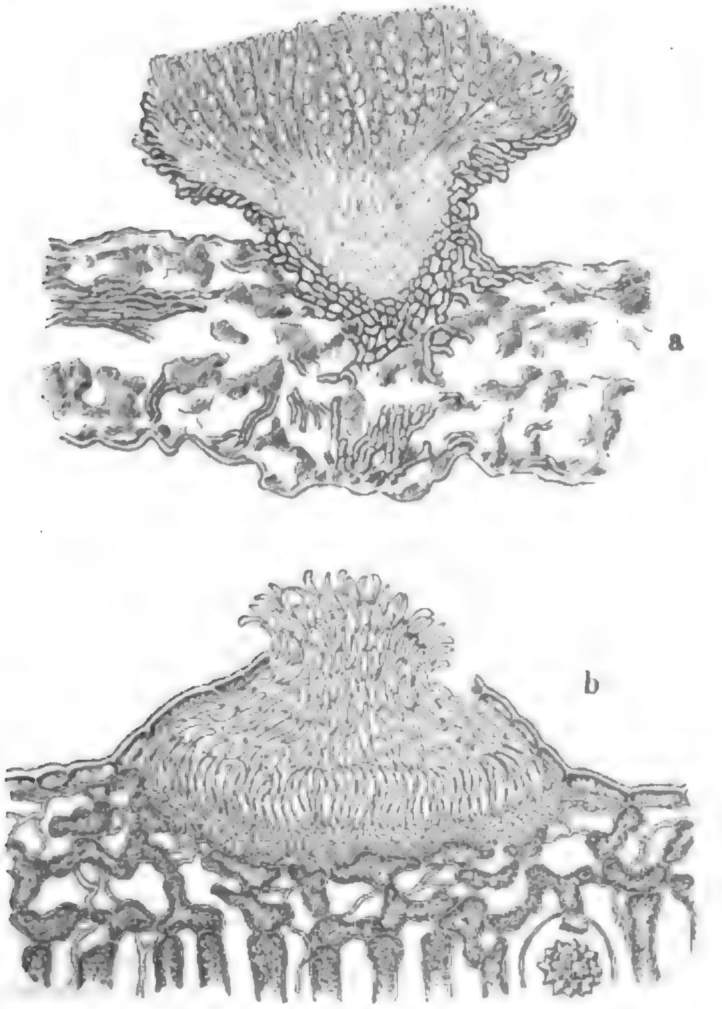


Fig. 19. Pseudopeziza Ribis (a) und seine Konidienform Gloeosporium Ribis (b). Nach Klebahn, Z. f. Pflanzenkrankheiten XVI.

Fig. 20. Lärchenzweig mit zweijähriger Krebsstelle (Dasyscypha Willkommii). a junge, b entwickelte Fruchtkörper, c vermutliche Eintrittspforte. Aus Hartig, Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten.

Digitized by Google

sich große, platte, grünlich schwarze Sklerotien, aus denen nach der Ueberwinterung kleine Apothecien hervorgehen. Auf welche Weise die Sporen infizieren, ist nicht festgestellt; die Infektion der Zwiebeln geht von dem Mycel aus, das aus den überwinterten Sklerotien hervorwächst. Die Krankheit ruft in den Hyazinthenkulturen in Holland gelegentlich großen Schaden hervor; sie kann nur durch sorgfältiges Entfernen der kranken Pflanzen samt dem umgebenden Erdreich bekämpft werden.

Sclerotinia Trifoliorum Erikss. (Kleekrebs) und Scl. Libertiana Fuck. (an Raps, Hanf, Kartoffeln, Tomaten) reihen sich hier an. Die früher zu Sclerotinia gezogenen Konidienträger der Botrytis cinerea Pers. gehören nicht in den Entwickelungskreis dieser Pilze.

ϰ) Exoascaceen. Die Exoascaceen sind echte Schmarotzer. Einige bringen Blattflecken hervor, die oft blasig aufgetrieben sind, z. B. Taphrina deformans (Berk.) Tul., die Kräuselkrankheit der Pfirsiche verursachend, T. aurea (Pers.) Fries an den Blättern der Pappeln; andere verunstalten die Früchte, wie T. Pruni (Fuck.) Tul., die die Taschen oder Narren der Pflaumen erzeugt (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 56).; noch andere rufen Hexenbesen hervor, z. B. T. Carpini Rostr. an Hainbuchen, T. betulina Rostr. an Birken, T. Laurencia Giesenh. an Pteris quadriaurita usw.

Charakteristisch ist der reifartige Ueberzug auf den befallenen Organen, der aus den vorragenden Sporenschläuchen besteht. Das Mycel tritt oft ziemlich zurück, bei einigen Arten geht es ganz in der Bildung der Schläuche auf, bei anderen perenniert es in den Zweigen. Ueber die Infektion ist wenig bekannt.

3c) Basidiomyceten. Unter den Basidiomyceten enthalten die beiden Gruppen der Ustilagineen und der Uredineen ausschließlich Erreger von Pflanzenkrankheiten, zum Teil sehr schädliche. Sie weichen durch die Eigenartigkeit ihrer Sporenbildung, die Uredineen namentlich auch durch die Mannigfaltigkeit derselben von der typischen Hauptgruppe, den Autobasidiomyceten, ab.

α) Ustilagineen. Die durch die Brandpilze (Ustilagineen, Hemibasidii) verursachten Brandkrankheiten haben zumeist das Gemeinsame, daß bestimmte Teile der Pflanzen im jugendlichen Zustande von dem Pilze ergriffen und bei ihrer weiteren Entwickelung von demselben ganz durchwuchert und verzehrt werden, so daß schließlich nur die Sporen, in die das Mycel inzwischen zerfallen ist, übrig bleiben. Mit Vorliebe werden die Blüten oder Teile derselben (Fruchtknoten, Staubgefäße) zerstört und in eine dunkelgefärbte Brandsporenmasse verwandelt, seltener entstehen die Brandbeulen an den Blättern, Stengeln oder Wurzeln.

Am besten bekannt sind die Brandkrankheiten der Getreidepflanzen. Der schädlichste ist der Steinbrand des Weizens, auch Stinkbrand oder Schmierbrand genannt, der durch Tilletia Tritici (Bjerk.) Wint., mit zierlichem Netzwerk auf den Sporen (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 62), oder durch T. laevis Kühn, mit glatten Sporen, zwei im übrigen sehr ähnliche Pilze, verursacht wird.

Die befallenen Pflanzen sind von gesunden nur im Wuchs der Aehren ein wenig verschieden; die etwas kürzeren und etwas dickeren Körner sind innerhalb der dünnen Schale ganz mit der anfangs schmierigen, später trockenen, nach Häringslake riechenden schwarzen Sporenmasse erfüllt, und zwar sämtliche Körner der befallenen Pflanze. Das Wiederauftreten der Krankheit erfolgt dadurch, daß die Sporen beim Dreschen frei werden und an den gesunden Körnern haften bleiben. Wenn die Weizenkörner keimen, keimen auch die Brandsporen. Die Keimschläuche der Sporidien dringen in dem eben hervorbrechenden Keimling gegen den Vegetationspunkt vor, und das entstehende Mycel gelangt mit diesem in die sich entwickelnden Aehren. Ob gelegentlich auch durch Brandkörner oder Sporen, die zufällig auf den Acker gelangt sind, eine Infektion eintreten kann, ist nicht sicher festgestellt. Auf das Auftreten der Krankheit ist die Temperatur während der Keimung von Einfluß; je langsamer sich der Getreidekeim entwickelt, desto länger und dadurch mehr ist er der Infektion ausgesetzt. Die Bekämpfung geschieht mit bestem Erfolg durch Abtöten der Sporen an den Saatkörnern, nach dem Kühnschen Verfahren mittels ½proz. Kupfervitriollösung (12 Stunden), nach dem Jensenschen Verfahren mittels heißen Wassers (ca. 56° C, 10 bis 15 Minuten).

Die der Gattung Ustilago (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 61) angehörenden Brandpilze des Getreides verwandeln die ganzen Aehren bis auf geringe Reste der Spelzen und der Gefäßbündel in ein schwarzes Sporenpulver. Meist verstäuben die Sporen schon zur Blütezeit (Flugbrand); bei einigen Arten bleiben sie durch geringe Reste der Spelzen etwas mehr in Zusammenhang (Hartbrand, gedeckter Brand).

Die Entwickelung des Hartbrandes der Gerste [Ustilago Jensenii Rostr. = U. Hordei (Pers.) Kell. et Sw., Sporen glatt], des Flugbrandes des Hafers [Ustilago Avenae (Pers.) Jens., Sporen warzig] und des gedeckten Haferbrandes [Ustilago laevis (Kell. et Sw.) Magn., Sporen glatt] findet in ähnlicher Weise statt, wie die des Steinbrandes, und die Bekämpfung kann auf dieselbe Weise erfolgen.

Für den Flugbrand des Weizens [Ustilago Tritici (Pers.) Jens.] und den Flugbrand der Gerste [Ustilago Hordei Bref. = Ustilago nuda (Jens.) Kell. et Sw.], beide mit warzigen Sporen, hat dagegen Brefeld festgestellt, daß die Infektion an dem Fruchtknoten während der Blütezeit stattfindet. Die infizierten Körner enthalten im Innern ruhendes Mycel, das sich bei der Keimung weiter entwickelt. Die gewöhnlichen Beizmethoden haben daher gegen diese Brand-

Digitized by Google

arten keinen Erfolg; dagegen soll das Heißwasserverfahren, wenn es mit voraufgehendem 4- bis 6-stündigem Einweichen der Körner in Wasser von 20 bis 30° verbunden wird, das Mycel in den Körnern töten, ohne die Keimkraft der letzteren zu schädigen (Appel, Ber. Deutsch. Bot. Ges. XXVII, 610).

Der Maisbrand [Ustilago Maydis (DC). Tul.] hat insofern eine abweichende Entwickelung, als die Infektion an allen jugendlichen Teilen der Pflanze erfolgen kann. Die Brandbeulen erreichen mitunter die Größe eines Kinderkopfes (Fig. 21).

Fig. 21. Maiskolben, oben mit geplatzter und stäubender Brandbeule (Ustilago Maydis). Aus v. Tubeuf, Pflanzenkrankheiten.

Zahlreiche andere Gräser, darunter Hirse, Zuckerrohr, Sorghum, sowie andere Monocotylen und manche Dicotylen werden unter mehr oder weniger ähnlichen Erscheinungen von spezifischen Brandpilzen befallen. Bemerkenswert ist das ausschließliche Vorkommen der Sporenlager in den Staubgefäßen bei einigen auf Caryophyllaceen lebenden Arten, wie Ustilago violacea (Pers.) Tul., sowie die mitunter damit verknüpften eigentümlichen Veränderungen in den Blütenorganen. Sehr auffällige Gallen bildet Ustilago Treubii Solms auf Polygonum chinense. Mehrzellige Sporen hat der Roggenstengelbrand Urocystis occulta (Wallr.) Rabenh. Erheblich abweichende Erscheinungen rufen die Gattungen Entyloma und Doassansia hervor.

β) Uredineen. Unter den durch die Rostpilze (Urestineen) erzeugten Rostkrankheiten beanspruchen die Rostkrankheiten des Getreides eine eingehendere Besprechung, teils wegen der praktischen Wichtigkeit des Gegenstandes, teils weil sie für eine ganze Reihe ähnlicher Erscheinungen sozusagen den Typus abgeben (vgl. den Artikel „Pilze", Fig. 63, 65, 66).

Das Mycel lebt interzellular in den Blättern, Blattscheiden und Halmen, mitunter auch in den Blütenteilen, es sendet Haustorien in die Zellen und zehrt die befallenen Teile aus, ohne sie sogleich zu töten; an der Bildung gelblicher Flecken ist die Ausbreitung des Mycels äußerlich zu erkennen. Auf den Flecken brechen durch die Epidermis die Uredosporen hervor, in Lagern vereinigt, die durch ihre rostähnliche Färbung der ganzen Pilzgruppe den Namen gegeben haben. Die Uredosporen bewirken, durch Wind oder Insekten verschleppt und mittels ihrer Keimschläuche durch die Spaltöffnungen eindringend, ein rasches Umsichgreifen der Krankheit. Während man in unseren Breiten Ende Mai meist nur mit Mühe vereinzelte Rostpilzlager auffindet, sind oft schon Mitte oder Ende Juli kaum noch Pflanzen vorhanden, die nicht einzelne Rostlager an sich tragen. Daß starker Befall eine allgemeine Schwächung der Pflanzen und namentlich eine mangelhafte Ausbildung der Körner nach sich ziehen muß, ist begreiflich.

Gegen Ende des Sommers entsteht eine zweite Art Sporen, zweizellig, von schwarzer (im Mikroskop brauner) Farbe, unter der Epidermis verbleibend oder (bei Puccinia graminis) daraus hervorbrechend, die Teleutosporen. Sie keimen, ein Promycel mit Sporidien [Basidie mit Basidiosporen, vgl. den Art. „Pilze",] bildend, meist erst nach der Ueberwinterung, selten sogleich (Puccinia dispersa); ihre Keime, die Sporidien, vermögen aber nicht das Getreide zu infizieren, sondern erfordern einen anderen Wirt, so daß der vollständige Entwickelungskreis der Getreideroste sich wirtswechselnd, heteröcisch, vollzieht. Auf diesem anderen Wirte entstehen orangerote, meist etwas gallenartig geschwollene Flecken, besonders auf den Blättern, und darin treten zuerst Spermogonien (Pykniden) und dann die Aecidien auf, in deren becherförmigem Gehäuse die orangefarbenen Aecidiosporen reifen, die nun umgekehrt nicht ihren Nährwirt, sondern nur wieder die Getreidepflanze zu infizieren vermögen (de Bary 1864). Daß die Aecidien ihrerseits eine Krankheit ihrer Nährpflanzen hervorrufen, muß noch erwähnt werden. Die Geschichte der Entdeckung dieser merkwürdigen Verhältnisse ist von besonderem Interesse (vgl. Klebahn, Die wirtswechselnden Rostpilze, 205 und 331 [1904]).

Für den Schwarzrost (Puccinia graminis Pers.) sind die Berberitze (Berberis vulgaris) und die verwandte Mahonia Aquifolium, für den Braunrost des Roggens (Puccinia dispersa Erikss.) die Ochsenzungenarten (Anchusa officinalis und A. arvensis),

Digitized by Google

für den Kronenrost des Hafers (Puccinia coronifera Kleb.) der Kreuzdorn (Rhamnus cathartica) die Aecidienwirte, für die übrigen Getreiderostarten, den Weizenbraunrost (P. triticina Erikss.), den Gelbrost (P. glumarum [Schmidt] Erikss. et Henn.) und den Zwergrost (P. simplex [Körn.] Erikss. et Henn., auf Gerste) hat man bisher die Aecidien nicht nachweisen können, und es ist nicht wahrscheinlich, daß dieselben in unseren Breiten überhaupt oder häufiger vorkommen.

Da die drei letztgenannten Rostarten bei uns trotzdem sehr häufig auftreten, so müssen sie sich auch ohne Aecidien erhalten können, und das gilt vielleicht auch für diejenigen, deren Aecidien man kennt, da die Häufigkeit der Aecidien und ihrer Wirte zu der Massenhaftigkeit des Auftretens der Getreideroste nicht in dem richtigen Verhältnis zu stehen scheint.

Diese Erhaltung dürfte durch Uredoüberwinterung vor sich gehen, die für einige dieser Rostpilze (P. dispersa) bestimmt nachgewiesen, für andere mehr oder weniger wahrscheinlich ist. Eine große Rolle spielen dabei sicher die leichte Verbreitung der Sporen durch den Wind und das Vermögen der Pilze, sich in kurzer Zeit gewaltig zu vermehren. Uebertragung der Krankheit mittels der Samen scheint wenigstens nicht unbedingt ausgeschlossen zu sein. Die Entstehung des Rostes ist ein nicht nach jeder Hinsicht geklärtes Problem, und von diesem Gesichtspunkte aus wird es verständlich, wie Eriksson an der von ihm ersonnenen Mykoplasma-Hypothese, die das Entstehen der Rostkrankheit aus einer inneren Krankheitsursache, einem Doppelwesen aus Wirtsplasma und Pilzplasma, annimmt, trotz des Widerspruches fast sämtlicher anderen Botaniker, festhalten kann (Malvenrost 1911).

Für die Bekämpfung des Getreiderostes versprach man sich seinerzeit viel von der Beseitigung der Berberitze. Seitdem man aber erkannt hat, daß eine größere Zahl von Getreiderosten vorhanden ist, daß mehrere derselben sicher ohne Wirtswechsel auskommen, und daß die einzelnen Arten noch dazu nach den Nährpflanzen spezialisiert sind, so daß z. B. der Schwarzrost des Roggens nicht auf den Hafer übergeht, und umgekehrt, muß das ganze Problem anders beurteilt werden. Bekämpfung auf dem Felde durch Bespritzen ist nicht durchführbar, Samenbeize zwecklos, und so bleibt einstweilen als einziges die Auswahl der unempfänglichen oder weniger empfänglichen Sorten für den Anbau, und für die Züchter die Aufgabe, solche Sorten durch Auslese oder Kreuzung zu gewinnen.

Zahlreiche andere, meist auf Gramineen oder Cyperaceen Teleutosporen, auf anderen Monocotylen oder auf Dicotylen Aecidien bildende Puccinia- und Uromyces-Arten verhalten sich den Getreiderosten ähnlich. Andere Arten bilden Aecidien, Uredo- und Teleutosporen auf derselben Nährpflanze (autöcische Arten), oder es kommen nicht alle Sporenformen in ihrem Entwickelungskreise vor.

Beispiele für wirtswechselnde Arten sind Puccinia Pringsheimiana Kleb. auf Carex, Aecidien auf Stachelbeeren, Pucc. Smilacearum Digraphidis Kleb. auf Phalaris, Aecidien auf Maiblumen, Uromyces Pisi (Pers.) de Bary auf Erbse, Aecidien auf Euphorbia. Autöcisch sind Uromyces Betae (Pers.) Tul. auf Runkelrüben, Puccinia Asparagi auf Spargel, Uromyces Phaseoli (Pers.) Wint. auf Bohnen. Die Uredosporen fehlen bei Puccinia Tragopogonis (Pers.) Corda. Nur Teleutosporen bilden Puccinia fusca (Relh.) Wint. auf Anemonen, die aus Chile eingewanderte Puccinia Malvacearum Mont. auf kultivierten Malvenarten und viele andere.

Aehnliche Verhältnisse wiederholen sich in den übrigen Abteilungen der Rostpilze.

Der auf den Blättern des Birnbaums rote gallenartige Anschwellungen bildende Gitterrost [Roestelia cancellata (Jacq.) Rebent.] ist das Aecidium des Gymnosporangium Sabinae (Dicks.) Wint. Er lebt streng wirtswechselnd und ist daher mit Sicherheit zu beseitigen, wenn man die benachbarten Sadebäume (Juniperus Sabina), die Träger der Teleutosporengeneration entfernt.

Bemerkenswerte Krankheiten der Kiefern erzeugen die Blasenroste, große auffällige Aecidien, früher Peridermium genannt, besonders die rindebewohnenden Arten. Peridermium Strobi Kleb., vermutlich von Pinus Cembra stammend, hat in Europa vielfach die Kultur der Weymouthskiefer (Pinus Strobus) unmöglich gemacht und ist neuerdings auch nach Nordamerika, in die Heimat der Weymouthkiefer eingeschleppt worden. Die Teleutosporengeneration ist das auf Ribes-Arten lebende Cronartium ribicola Dietr. Die Teleutosporengeneration des verwandten Cr. asclepiadeum (Willd.) Fries (Peridermium auf Pinus silvestris) zeichnet sich durch eine höchst merkwürdige Pleophagie aus. Die kleinen nadelbewohnenden Peridermium-Formen gehören zu Teleutosporen aus der Gattung Coleosporium (Fig. 22).

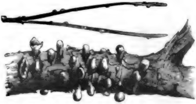


Fig. 22. Oben nadelbewohnendes Peridermium (zu Coleosporium), unten rindebewohnendes Peridermium (zu Cronartium), beide auf Pinus silvestris. Aus Wettstein, Handbuch der systematischen Botanik.

Sehr mannigfaltige Verhältnisse weist die Gattung Melampsora auf, von der auf Weiden und Pappeln zahlreiche Vertreter leben. Die zugehörigen Aecidien (Caeoma) entwickeln sich besonders auf Lärchen (Larix), außerdem auf Kiefern, Allium, Ribes, Evonymus, Mercurialis, Chelidonium usw.

Nicht wirtswechselnd lebende Uredineen aus

Digitized by Google

anderen Gattungen sind die Phragmidien, z. B. Phragmidium subcorticium (Schrank) Winter, der Rosenrost u. a. Nur Teleutosporen bildet die den Fichten schädliche Chrysomyxa Abietis (Wallr.) Wint.

Manche Rostpilze sind wegen der eigentümlichen Wuchsveränderungen, welche sie an den befallenen Pflanzen hervorbringen, bemerkenswert.

In erster Linie seien die Hexenbesen der Weißtanne (Fig. 5) genannt, welche Aecidium elatinum Alb. et Schw., die Aecidiengeneration der Melampsorella Caryophyllacearum (DC.) Schröter, hervorbringt, sodann die Hexenbesen der Berberitze, verursacht durch Aecidium graveolens Shuttlew., das Aecidium der Puccinia Arrhenatheri (Kleb.) Erikss., die merkwürdigen Formveränderungen der Anemonen, welche Puccinia fusca (Relh.) Wint. und das Aecidium (leucospermum DC.) der Ochropsora Sorbi (Oud.) Dietel hervorbringen, die der Euphorbien durch Uromyces-Arten usw. Beispiele merkwürdiger Lokalisation der Krankheit sind das Vorkommen der Aecidien der Thecopsora areolata (Wallr.) Magn. [Aec. strobilinum (A. et S.) Rees] und des Aecidium conorum Piceae Rees auf den Zapfenschuppen, sowie des Aecidium coruscans Fries auf den eben ausbrechenden Trieben der Fichte.

γ) Autobasidiomyceten. Die Abteilung der Autobasidiomyceten, zu der die Mehrzahl der größeren Schwämme oder Hutpilze gehört, umfaßt zum größten Teil Saprophyten. Parasiten sind die Exobasidieen und eine Anzahl Hymenomyceten. Ob bei den Gasteromyceten mehr als gelegentlicher Parasitismus vorkommt, bedarf weiterer Erforschung.

Das charakteristische Merkmal der ganzen Abteilung ist die Sporenbildung an typischen Basidien (vgl. den Artikel „Pilze“, Fig. 72).

aa) Hymenomyceten. Polyporeen. Die Hymenomyceten enthalten wichtige Baumschädlinge, und zwar besonders in der Gruppe der Polyporeen. Das Mycel durchwuchert Holz und Rinde und zerstört beide; an den befallenen Stellen wachsen später die großen Fruchtkörper der Pilze hervor.

Ein besonders gefürchteter Schädling ist Fomes annosus Fries (= Trametes radiciperda R. Hartig), der Kiefernwurzelschwamm (Fig. 23), die Ursache der Rotfäule der Kiefern und Fichten, auch der Tannen und Lärchen.

Zuerst wird der Inhalt der Markstrahlzellen aufgelöst, später werden die Membranen der Holzzellen von innen her angegriffen. Es entstehen schwarze Mycelnester, um diese herum weiße Zonen, wo die Membranen nur noch aus Cellulose bestehen, und außerhalb dieser bräunlichgelbe Partien, wo nur die Mittellamellen übrig bleiben. Das Herbstholz widersteht länger, und dadurch bildet sich ein faseriger Inhalt. Nach Hartig verbreitet sich die Krankheit wesentlich durch das Mycel von Wurzel zu Wurzel und aus den Wurzeln in die Stämme. Deshalb ist vorgeschlagen worden, die befallenen Stämme zu verbrennen und durch Ziehen von Isoliergräben die Ausbreitung zu verhüten. Nach Brefeld und Möller sollen aber die Sporen mehr zur Verbreitung des Pilzes beitragen.

In die Gattung Fomes gehören noch mehrere andere Baumschädlinge, die aber mittels der Sporen von Wunden oder abgestorbenen Stellen aus in das lebende Gewebe eindringen. Das Holz erleidet verschiedenartige Zersetzungserscheinungen.

Durch ihre großen Fruchtkörper sind auffällig und bekannt Fomes fomentarius (L.) Fries, der echte Zunderschwamm, besonders an Buchen, F. igniarius (L.) Fries, der falsche Feuerschwamm (Fig. 24), an Weiden, Eichen, Apfelbäumen, Trametes Pini (Brot.) Fries, der an Kiefern, Fichten und Lärchen die Ringschäle oder Kernschäle hervorbringt, und eine Reihe von Polyporus-Arten, wie P. squamosus (Huds.) Fries, P. sulfureus Fries und andere. Der gefürchtete Hausschwamm, Merulius lacrymans (Wulf.) Schum., gehört nicht zu den parasitischen Pilzen.

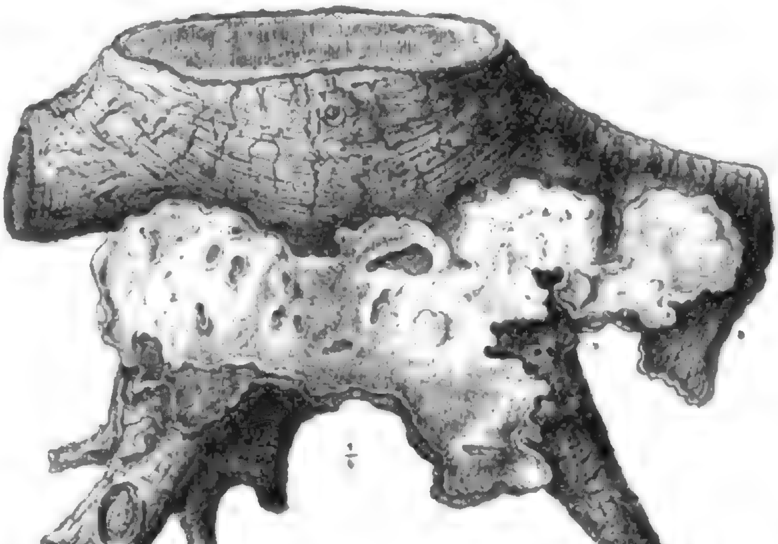


Fig. 23. Fomes annosus auf dem Stock einer 40jährigen Fichte. a frische, b alte Fruchtschicht des Fruchtkörpers, c lebender Splint, das übrige Gewebe verfault. Aus Hartig, Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten.

Interessante Zersetzungserscheinungen veranlassen noch die zu den Thelephoreen gehörenden Pilze Stereum hirsutum (Willd.) Pers. und St. frustulosum (Pers.) Fries, ersterer das weißpfeifige Holz der Eiche, letzterer das sogenannte Rebhuhnholz.

Aus der Gruppe der Agaricineen ist der Hallimasch, Armillaria mellea

Fig. 24. Fomes igniarius an einem Eichenstamm. Oben ein Spechtloch. Aus v. Tubeuf, Pflanzenkrankheiten.

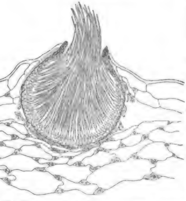


Fig. 25. Septoria Apii. Fruchtkörper auf einem Sellerieblattstiel. Nach Klebahn, Ztschr. f. Pflanzenkrankheiten XX.

(Vahl) Quél., die Ursache einer häufig auftretenden Erkrankung der verschiedensten Nadelhölzer, die man als Harzsticken, Harzüberfülle oder Erdkrebs bezeichnet; er kommt aber auch an Laubholz vor.

Die Infektion findet wesentlich durch Mycel an den Wurzeln statt, weshalb gegen die Ausbreitung ähnliche Maßregeln wie gegen Fomes annosus angewendet werden. In den befallenen Teilen entstehen feste Mycelstränge, die sogenannten Rhizomorphen, und aus diesen wachsen an den Stöcken oder Wurzeln die Fruchtkörper der Armillaria hervor. Das Mycel wird gelegentlich mit Bauholz verschleppt, und die Rhizomorphen kommen dann in Bergwerken, Kellern usw. zur Entwickelung.

ββ) Exobasidieen. Die Exobasidieen sind eine kleine mykologisch interessante Gruppe ohne größeres pathologisches Interesse. Exobasidium Vaccinii Wor. bildet auf Preißel- und Heidelbeeren gallenartige, mit einer Basidienschicht überzogene Anschwellungen (vgl. den Artikel „Pilze", Fig. 74).

3d) Fungi imperfecti. Unter dem Namen Fungi imperfecti faßt man alle diejenigen Pilze zusammen, von denen man nur Konidienfrüchte, Konidienträger oder auch nur Mycel kennt. Viele dürften als Konidienformen zu Ascomyceten oder auch wohl in andere Pilzgruppen gehören, doch ist es möglich, daß manche die Fähigkeit, eine höhere Fruchtform zu bilden, verloren oder nie besessen haben. Vielleicht gibt es in keiner Pilzgruppe so viele Erreger von Pflanzenkrankheiten wie in dieser. Die Erscheinungen, die sie hervorbringen, sind aber denjenigen sehr ähnlich, die durch die Konidienformen der Ascomyceten verursacht werden. Auf den Blattflecken oder den erkrankten oder getöteten Teilen der Rinde, der Wurzeln, Knollen oder Früchte erscheinen die Konidienlager. Einige bilden nur Sklerotien oder auch nur Mycel. Aus der großen Fülle der Formen können hier nur wenige Beispiele genannt werden.

Die Sphaeropsideen bilden ihre Konidien in besonderen, oft kugeligen Gehäusen (Pykniden). Die Gattungen Septoria mit fadenförmigen quergeteilten Konidien und Phyllosticta mit kleinen ovalen Konidien erzeugen Blattfleckenkrankheiten, z. B. S. Tritici Desm. und graminum Desm. an Gräsern, S. Apii (Br. et Cav.) Rostr. an Sellerie (Fig. 25), S. Lycopersici Speg. an Tomaten, Ph. Violae Desm. an Veilchen, Ph. Dianthi Westend. an Nelken. Die Gattung Phoma ist Phyllosticta sehr ähnlich, findet sich aber mehr an Achsenorganen. Ph. Betae befällt von den Samen aus die Keimpflanzen der Runkelrüben, erzeugt Wurzelbrand und findet sich auch bei der Herz- und Trockenfäule. Ph. apiicola, gleichfalls vom Samen oder auch vom Boden aus infizierend, erzeugt den Schorf des Knollenselleries (Fig. 26).

Die Melanconieen bilden Konidienlager ohne Gehäuse. Gloeosporium Lindemuthia-

Digitized by Google

num Sacc. erzeugt schwarze Flecken an den Hülsen der Bohnen, G. ampelophagum (Pass.) Sacc. ist der Erreger einer gefürchteten Krankheit der Reben, die als Pech, schwarzer Brenner oder Anthracnose bezeichnet wird. Weitere Krankheitserreger wären aus den Gattungen Colletotrichum, Septogloeum, Pestalozzia usw. zu nennen.

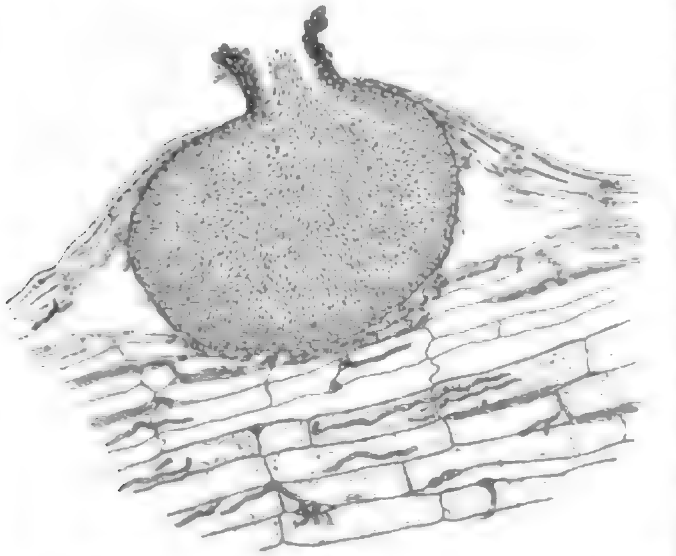


Fig. 26. Phoma apiicola. Fruchtkörper an einer Selleriewurzel. Nach Klebahn, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten. XX.

Die Hyphomyceten bilden Konidien an freien Trägern, mitunter auch nur Mycel oder Sklerotien. Ovularia necans Pass. verursacht eine Krankheit der Blätter der Quitten und Mispeln. Ramularia Tulasnei Sacc. erzeugt auf den Blättern der Erdbeeren weiße Flecken mit rotem Saume (Fig. 27). Mycogone perni-

Fig. 27. Erdbeerblatt mit Blattfleckenkrankheit (Ramularia Tulasnei). Nach Tulasne, Sel. fung. carp.

ciosa Magn. ist der Erreger der Môle-Krankheit der Champignonkulturen. Die Gattung Botrytis bildet Konidienträger und Sklerotien. Sie umfaßt zahlreiche Formen, die zum Teil nur Saprophyten, zum Teil mehr oder weniger scharf ausgeprägte Parasiten sind. Sehr schädlich ist B. parasitica Cav. für die Tulpenkultur (Fig. 4 u. 13); andere Arten schaden den Gewächshauspflanzen.

Hyphomyceten mit dunkel gefärbten Konidien und Konidienträgern bringen schwärzeartige Erscheinungen hervor. Die Gattungen Cladosporium, Helminthosporium, Heterosporium, Sporidesmium, Alternaria, Cercospora und andere wären zu nennen. Viele sind nur Schwächeparasiten, so die Schwärzepilze des Getreides, der Runkelrüben, der Tabakkeimlinge. Ein echter Parasit ist Heterosporium echinulatum (Berk.) Cke., ein Schädling der Gartennelken. Zu den Pilzen, von denen man nur Mycel kennt, gehört der „Vermehrungspilz", der die jungen Pflänzchen in den Stecklingskästen und Vermehrungshäusern zugrunde richtet. Nur Mycel und Sklerotien kennt man von Sclerotium Tuliparum Kleb., einem Schädling der Tulpen, der durch seine mehrere Jahre dauernden Sklerotien den Boden so verseuchen kann, daß überhaupt keine Tulpen mehr auf demselben aufkommen (kwade plekken der holländischen Tulpenzüchter; s. Fig. 12).

III. Die durch Tiere verursachten Pflanzenkrankheiten und Schädigungen.

A. Allgemeines.

Außerordentlich groß ist die Zahl der Pflanzenschädlinge aus dem Tierreich. Alle Pflanzenfresser sind hinsichtlich ihrer Ernährung direkt auf das Pflanzenreich angewiesen und fügen den Pflanzen dadurch, daß sie denselben durch Saugen oder Beißen ihre Nahrung entnehmen, mehr oder weniger großen Schaden zu. Indessen lassen sich die dadurch zustande kommenden Erscheinungen, auch wenn sie zu einer Schwächung der Pflanzen führen, doch nur teilweise unter den Begriff der Pflanzenkrankheiten bringen. So wenig man den gemähten oder vom Weidevieh abgegrasten Rasen krank nennen wird, so wenig läßt sich Raupen- oder Käferfraß an den Blättern als Krankheit bezeichnen. Anders liegen die Verhältnisse, wenn saugende Insekten die Blätter auszehren, oder wenn die Tiere im Innern leben, und sich dadurch der oberflächlichen Beobachtung entziehen. In ausgeprägter Weise haben diejenigen Fälle den Charakter der Krankheit, wo die Tiere Gestaltsveränderungen oder abnorme Wucherungen hervorrufen, oder wo sie mikroskopisch klein sind und daher erst durch eingehende Untersuchung erkannt werden können. Die Begriffsbestimmung ist also hier schwierig, es gibt keine scharfe Grenze zwischen Krankheit und Schädigung.

Sieht man von allen den Tieren ab, die nur durch Fraß die Pflanzen schädigen, wie die Schnecken, viele Insekten und höhere

Digitized by Google

Wirbeltiere, so bleiben als solche, die zum Teil als Erreger von Krankheiten angesehen werden können, wesentlich nur gewisse Nematoden, Milben und ein anderer Teil der Insekten übrig.

B. Die Krankheiten im einzelnen, nach den Erregern geordnet.

1. Nematoden (Aelchen). Die zu den Nematoden gehörige Familie der Anguilluliden oder Aelchen enthält neben Fäulnisbewohnern eine ziemlich große Anzahl von parasitischen Arten, die typische Pflanzenkrankheiten hervorrufen. Diese gehören den Gattungen Heterodera, Tylenchus und Aphelenchus an, die durch den Besitz eines durchbohrten Mundstachels ausgezeichnet sind, der zusammen mit dem muskulösen Magen als Saugorgan gebraucht wird.

Heterodera Schachtii Schmidt befällt die Wurzeln der Zucker- und Futterrüben, tötet dieselben und hemmt die Entwickelung der Pflanzen.

Die aus den Eiern ausschlüpfenden jungen Aelchen gelangen in den Erdboden und aus diesem in neue Wurzeln. Die befruchteten Weibchen sitzen zuletzt als zitronenförmige, mit Eiern gefüllte Schläuche scheinbar äußerlich den Wurzeln an. Da auch Getreide- und Kohlarten, Leguminosen und Unkräuter die Aelchen beherbergen, so genügt einfacher Fruchtwechsel nicht zur Beseitigung der Tiere. Der Boden wird vielmehr in steigendem Maße „rübenmüde“ und läßt schließlich Rüben überhaupt nicht mehr aufkommen. An dieser Tatsache ändert der Umstand nicht viel, daß die Aelchen sich an einzelne Nährpflanzen besonders gewöhnen und dann nicht immer leicht auf andere übergehen. Zur Beseitigung der Rübenmüdigkeit ist der wiederholte Anbau von „Fangpflanzen“ empfohlen worden, in denen die jungen Aelchen sich sammeln, und die man dann rechtzeitig, durch Unterpflügen zerstört. Mit mehr oder weniger Erfolg ist auch Bodendesinfektion (Schwefelkohlenstoff, Aetzkalk usw.) versucht worden.

Heterodera radicicola Greef erzeugt Gallen an den Wurzeln zahlreicher Pflanzen. Wenn die jungen Aelchen auswandern, sterben die Gallen ab und töten auch die Wurzeln. Dadurch wird dieses Tierchen perennierenden Pflanzen, wie Rotklee, oder solchen mit langsamer Wurzelerneuerung gelegentlich sehr schädlich.

Aus der Gattung Tylenchus, deren Weibchen die Eier ablegen, ist namentlich T. devastatrix Kühn (= T. Dipsaci Kühn), das Stengelälchen oder Stockälchen, ein schädlicher Parasit.

Am Roggen erzeugt es die Stockkrankheit, bei der die Pflanzen überreichliche Bestockung, Anschwellung und Verkürzung der Halmglieder, Verbreiterung und Verkrümmung der Blätter zeigen und bald absterben. Auch an Hafer, Buchweizen, Kartoffeln, Klee, Zwiebeln, Hyazinthen, Weberkarden usw. ruft es Krankheiten hervor.

Bei der als Gichtkorn oder Radenkorn des Weizens bezeichneten Krankheit enthalten die mißgebildeten schwarzbraunen Körner im Innern die Larven des Tylenchus scandens Schneid. (= T. Tritici Roffr.). Die Tierchen kommen auch nach mehrjähriger Ruhe wieder zur Entwickelung, wenn die Körner im Boden erweichen. Sie gelangen in der wachsenden Pflanze nach oben und vermehren sich im Fruchtknoten.

Von den zahlreichen anderen Aelchenkrankheiten seien noch die Blumenkohlkrankheit der Erdbeeren, sowie Blattkrankheiten von Begonien, Farnen usw. genannt, bei denen man Aphelanchus-Arten gefunden hat.

2. Milben. Von den Milben (Acariden) sind die Tetranychiden wohl die schädlichsten. Es sind kaum $^1/_4$ mm große Tierchen, die sich bei heißem und trockenem Wetter überaus stark vermehren. Sie schaden namentlich gärtnerischen Kulturen, z. B. Gurken, Kürbis, Bohnen, aber auch Holzpflanzen und selbst Unkräutern, indem sie die Blätter an zahllosen Stellen aussaugen, so daß sie gelb, rot oder zuletzt braun und trocken werden.

Am meisten wird die rote Spinne, Tetranychus telarius Gachet, erwähnt. Es gibt aber andere ähnliche Arten, die nicht weniger schädlich sind, z. B. Bryobia Ribis Thomas an Stachelbeeren. Die Bekämpfung, z. B. durch Tabakräucherung, Abspritzen mit Giftmitteln usw., ist schwierig. Zu berücksichtigen ist die Gewohnheit der Tiere, sich im Winter in Schlupfwinkel zurückzuziehen oder Wintereier zu legen, oft an der befallenen Pflanze selbst.

Von anderen Milben werden die Tyroglyphiden (Gattungen Tyroglyphus und Rhizoglyphus) als besonders schädlich bezeichnet. Sie zerstören Blumenzwiebeln, Kartoffeln, Dahlienknollen, Wurzeln des Weinstocks, Champignonkulturen usw.

Die Gallmilben (Eriophyiden oder Phytoptiden) rufen Gallen und gallenähnliche Deformationen hervor.

Von ihren Ueberwinterungsplätzen, die sich oft an und zwischen den Knospenschuppen befinden, wandern sie im Frühjahr in die sich entwickelnden Organe, die sie durch einen Reiz zur Gallenbildung anregen. Es entstehen Rollungen und Faltungen der Blätter, Beutelgallen, Rindengallen, Triebspitzen- und Knospendeformationen, Vergrünungs- und Füllungserscheinungen usw. Verhältnismäßig stark schädigend treten mitunter die Filzkrankheiten auf, abnorme haarartige Wucherungen der Epidermiszellen der Blätter, die z. B. an Weinstock, Linde, Eberesche usw. durch Eriophyes-Arten hervorgebracht werden und früher für Pilze (Erineum) gehalten wurden, sowie die Pocken der Birnblätter, gallenartige Wucherungen des Mesophylls, in denen Eriophyes Piri Pagenst. lebt.

3. Insekten. Die große Klasse der Insekten birgt außerordentlich zahlreiche und vielleicht die wichtigsten von allen Pflanzenschädlingen, doch haben die durch sie hervorgebrachten Wirkungen nur in

einem kleinen Teil der Fälle mehr oder weniger deutlich den Charakter von infektiösen Krankheiten.

a) Beißende Insekten. Die Insekten mit beißenden Mundteilen rufen in den meisten Fällen keine anderen Wirkungen hervor, als die Folgen der Verwundung und die Schwächung, die infolge der Zerstörung solcher Organe, die für die Ernährung nötig sind, eintreten muß

Hingewiesen sei auf die Engerlinge, Raupen, Schnakenlarven, Heuschrecken, sowie die innerlich lebenden Obstmaden, Borkenkäferlarven usw. Zum Teil sind diese Tiere äußerst gefährliche Schädlinge, deren Bekämpfung ein wichtiger Zweig der praktischen Phytopathologie ist.

Wenn beißende Insekten sich an solchen Stellen ansiedeln, die für das Gesamtleben der Pflanze oder einzelner Zweige derselben von Wichtigkeit sind, können Erscheinungen auftreten, die den Charakter der Krankheit haben, und das um so mehr, je kleiner die Schädlinge und je verborgener ihr Aufenthaltsort ist.

Hier wären zu nennen die Larven der Fritfliege (Oscinis frit L.), der Hessenfliege (Mayetiola destructor Say), der Getreidehalmwespe (Cephus pygmaeus L.), die das Getreide schädigen, die Larven der Zwiebelfliege Hylemyia antiqua Meig., der Narzissenfliege (Merodon equestris Fabr.), der Kohlfliege (Chortophila Brassicae Bouché), der Möhrenfliege (Psila Rosae Fabr.), welche im Innern von Zwiebeln und Knollen nagen, und von denen die letztgenannte die sogenannte Eisenmadigkeit an Möhren und Sellerie hervorbringt usw.

Von den im Innern der Pflanzen lebenden Insektenlarven bilden die „minierenden" eine besondere Gruppe. Sie fressen das Mesophyll der Blätter aus und lassen dafür manchmal ihren Kot zurück, während die Epidermis unbeschädigt bleibt. So entstehen Blattflecken, die mit manchen durch Pilze erzeugten Blattflecken eine oberflächliche Aehnlichkeit haben.

Es gibt minierende Larven bei den Fliegen, z. B. Anthomyia conformis Fall. (= Pegomyia Hyoscyami Panz.), die Runkelfliege, namentlich an den jungen Rübenpflanzen oft felderweise das Laub verderbend, bei den Schmetterlingen, z. B. Gracilaria syringella Fabr., Blattflecken am Flieder (Syringa vulgaris) hervorrufend, seltener bei Käfern, z. B. Orchestes-Arten.

b) Saugende Insekten. Auch bei den durch saugende Insekten hervorgebrachten Schädigungen tritt in vielen Fällen die Ursache des Schadens so auffällig in die Erscheinung, daß sich die Aufmerksamkeit sogleich dem Schädling zuwendet. Dies gilt z. B. für die zum Teil praktisch äußerst wichtigen Fälle, in denen die Pflanzen von Läusen oder auch von Cicaden befallen sind.

Die Aphiden oder echten Blattläuse, vermehren sich (zeitweilig parthenogenetisch) so rasch, daß sie gewisse Pflanzenteile ganz bedecken. Sie halten sich mit Vorliebe an den jugendlichen Teilen auf und richten sie nicht selten völlig zugrunde.

Als Begleiterscheinungen bleiben der von den Läusen ausgeschiedene zuckerhaltige Saft (Honigtau) und die Ueberreste ihrer Häutungen auf den Pflanzen zurück. Bekämpfung durch Spritzmittel (z. B. mit Nikotin) ist, sobald die Tiere sich benetzen lassen, sehr wirksam, im großen aber (z. B. auf Bohnenäckern) wohl kaum in rentabler Weise durchführbar.

Die Schildläuse oder Cocciden bewohnen die noch dünnrindigen Teile von Holzpflanzen, derbhäutige Blätter, besonders an immergrünen Pflanzen, und auch Früchte.

Die schildförmigen Weibchen sitzen oft zu Tausenden beisammen fest, mit ihrem Rüssel die Pflanzen aussaugend. Die Männchen und die aus den Eiern kommenden Jungen sind beweglich. Die Bekämpfung macht oft Abbürsten und Zurückschneiden der Pflanzen nötig. Gegen die Einschleppung der gefürchteten kalifornischen San José-Laus, Aspidiotus perniciosus Comst., sind besondere Absperrmaßregeln ergriffen. Einige Arten werden durch ihre Produkte nützlich (Gummilack-, Cochenille- und Manna-Schildlaus).

Von den Zirpen oder Cikaden mag hier nur die gelegentlich massenhaft auftretende Zwergcikade (Jassus [Cicadula] sexnotatus Fall.) erwähnt sein.

In solchen Fällen, wo die saugenden Insekten oder deren Larven sehr klein sind und verborgen leben, oder wo sie abnorme Wucherungen und Gestaltsveränderungen hervorrufen, erscheinen die durch sie veranlaßten Schäden als Krankheiten.

Beispiele kleiner, verborgen lebender Insekten sind die Blasenfüße des Getreides (Thrips [Limothrips] cerealium Halid. und andere Arten). Sie saugen innerhalb der obersten Blattscheide und in der sich entwickelnden Aehre oder Rispe und machen diese bleich und taub.

Größere Insekten, die aber dann, wenn der durch sie bewirkte Schaden sichtbar wird, am Orte ihrer Taten in der Regel nicht zu finden sind, sind die schnellfüßigen grünen Wanzen, auch grüne Fliegen genannt (Lygus-Arten). Sie bohren an Fuchsien, Dahlien, Pelargonien usw. die ganz jungen, noch in der Knospenlage befindlichen Blätter an. Wenn diese später entfaltet sind, haben sie zahlreiche rundliche trockene Flecken oder Löcher, an denen keine Spur ihrer Ursache zu finden ist.

Krankhafte Gewebewucherungen, die zu den als Krebs bezeichneten Erscheinungen gehören, veranlaßt die Blutlaus (Schizoneura [Myzoxylus] lanigera Hausm.) besonders an Apfelbäumen

Die unter einem wolligen Filz verborgenen Tiere senken ihren Rüssel an jungen Zweigen oder an Ueberwallungswulsten von Wunden bis in das Cambium ein. An Stelle des normalen Holzes entsteht dann ein reichlicheres saftiges und schwach verholztes Gewebe, das leicht vertrocknet oder durch Frost getötet wird. Indem

Digitized by Google

die Erscheinungen im folgenden Jahre sich wiederholen, zwischen stärkeren Wucherungen und offene Wunden, die den Bäumen erheblich schaden. Die Vertilgung der Tiere oder die Beseitigung stark befallener Bäume wird vielfach durch Polizeiverordnungen zwangsweise durchgeführt.

Sehr mannigfaltig ist die Schar derjenigen Insekten, die **Gallen** hervorrufen. Als das schädlichste gallenbildende Insekt dürfte die **Reblaus**, bekannt unter dem älteren Namen **Phylloxera vastatrix Planch.**, zu bezeichnen sein.

Die sich ungeheuer stark vermehrenden Tiere erzeugen Gallen an den Wurzeln (Nodositäten). Wenn die Gallen absterben, verfaulen auch die Wurzeln, und der Weinstock leidet erheblichen Schaden oder geht ein. Von den vorhandenen Herden aus verbreitet sich die Reblaus leicht, namentlich mit Pflanzmaterial. Die Ausrottung ist sehr schwierig, oft erfolglos. Durch strenge Absperrungsmaßregeln sucht man der Ausbreitung entgegen zu wirken.

Die übrigen durch Insekten hervorgerufenen Gallenbildungen sind verhältnismäßig harmlos und mehr wissenschaftlich interessant, wenn sie auch in einzelnen Fällen zu mehr oder weniger großen Schädigungen der betroffenen Pflanzen führen können.

Zweiflügler erzeugen Beutelgallen (selten), echte Gallen mit innerem Hohlraum, Zweiggallen, Triebspitzendeformationen usw. Blattläuse bringen besonders Blasen- oder Beutelgallen an Blättern hervor; merkwürdige zapfenartige Triebspitzendeformationen an der Fichte erzeugen **Chermes**-Arten, von denen einige sich durch sehr verwickelten Generations- und Wirtswechsel auszeichnen. Sehr mannigfaltige Gallenbildungen werden durch Hautflügler verursacht, und zwar durch einige Blattwespen und namentlich durch die eigentlichen **Cynipiden** oder Gallwespen. Es gibt Gallen verschiedenartiger Größe und Gestalt an den Blättern, den Knospen, den Zweigen, den Blüten und Früchten, den Wurzeln. Außerordentlich reich an den verschiedenartigsten Gallen sind die Eichen. Bemerkenswert sind die Schlafäpfel oder Bedeguare der Rosen. Auch einige gallenbildende Schmetterlings- und Käferlarven sind bekannt. Näheres über Gallen s. im Artikel „**Gallen**“.

IV. Enzymatische Krankheiten.

Ueber die Krankheiten und krankheitsähnlichen Zustände, die man als enzymatische bezeichnet hat, sind die Ansichten noch wenig geklärt. Es kommen nur solche Krankheiten in Betracht, bei denen das Vorkommen lebender Krankheitserreger, sowohl tierischer wie pflanzlicher Natur, als ausgeschlossen gelten kann. Da aber trotzdem eine Uebertragung von Pflanze zu Pflanze nachgewiesen ist, so muß doch eine stoffliche Grundlage vorhanden sein. Man hat angenommen, daß ein **Giftstoff**, ein **Virus**, die Krankheit hervorruft, und da kleine Mengen genügen und der Giftstoff sich in der Pflanze vermehrt, so würde derselbe den **Enzymen** verwandt sein. Von gewisser Seite ist die Meinung ausgesprochen worden, daß die Erscheinungen auf einer Störung der enzymatischen Funktionen beruhen. Da aber eine Störung als solche sich nicht übertragen läßt, so dürfte, auch wenn diese Anschauung sonst richtig wäre, die Annahme eines Stoffes, der die Störung hervorruft, nicht zu umgehen sein.

Von der als **infektiöse Chlorose** bezeichneten Gelbbuntblättrigkeit gewisser **Malvaceen**, besonders der **Abutilon-Arten** (Fig. 39), ist lange bekannt, daß sie sich durch Pfropfen übertragen läßt, und zwar sowohl von der Unterlage auf das Pfropfreis

Fig. 39. Blatt von **Abutilon Thompsoni**. Original.

wie auch vom Pfropfreis auf die Unterlage. Neuere Versuche ergeben, daß die wirksame Substanz in den gefleckten Blättern und nur im Lichte entsteht; in die Zweigspitzen einwandernd ruft sie die Veränderung der sich neubildenden Blätter hervor. Durch Kultur im Dunkeln und Entfernen der gefleckten Blätter gelingt es, die Krankheit zum Verschwinden zu bringen. Auf anderem Wege als durch Pfropfen hat man die Chlorose der Malvaceen bislang nicht übertragen können. Sehr interessant und für das wirkliche Vorhandensein eines Stoffes als Krankheitsursache sprechend ist die Beobachtung, daß die Krankheit auch übertragen wird, wenn zwischen die erkrankte Pflanze (**Abutilon Thompsoni**) und die zu infizierende grüne (**A. indicum**) eine unempfängliche (**A. arboreum**) durch Pfropfung eingeschaltet wird.

Digitized by Google

An **Jasmin, Liguster** und **Goldregen** sind Erscheinungen von ähnlichem Verhalten beobachtet worden. Dagegen ist die bei zahlreichen anderen Pflanzen vorkommende Weißbuntblättrigkeit, Albicatio oder Panaschierung ganz anderer Natur; sie läßt sich durch Pfropfen nicht übertragen und scheint den Charakter eines erblichen Rassenmerkmals zu haben. Immerhin aber bedingt sie einen dem normalen gegenüber geschwächten Zustand der betroffenen Pflanzen.

Die **Mosaikkrankheit des Tabaks**, die gegenwärtig für eine der gefährlichsten Krankheiten des Tabaks gehalten wird, und die **Mosaikkrankheit der Tomaten** lassen sich durch Einspritzen des Saftes der kranken Pflanzen hervorrufen, vorausgesetzt, daß der Saft genügend nahe an den Vegetationspunkt gelangt. Der Krankheitsstoff bleibt wirksam, wenn man den Saft auf 50 bis 60° erhitzt, oder wenn man ihn mit Alkohol fällt und den Niederschlag wieder in Wasser löst. Demnach sind lebende Erreger mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Das Tomatenvirus kann auch aus getrockneten Pflanzen in virulenter Form gewonnen werden; es ist von dem Tabakvirus verschieden. Das äußerliche Aufbringen des Saftes genügt nicht zur Erzeugung der Tabakkrankheit; dagegen wird sie durch die Arbeiter verbreitet, welche den Tabak ausgeizen und dabei den Saft mit den Fingern in Wunden übertragen.

Es sprechen einige Gründe dafür, daß die als **Yellows** und **Rosette der Pfirsiche** in Amerika bekannten Krankheiten gleichfalls zu den enzymatischen Krankheiten gehören. Ob mit der berüchtigten und vielbesprochenen **Serehkrankheit** des Zuckerrohrs sowie mit gewissen **Harz- und Gummiflüssen** dasselbe der Fall ist, steht dahin, und es mag daher an dieser Stelle ein Hinweis genügen.

Literatur. *Die Literatur über Pflanzenkrankheiten ist so umfangreich, daß eine vollständige Aufzählung Bände füllen würde. Im folgenden können nur einige der wichtigsten neueren Handbücher und periodischen Schriften genannt werden. Zahlreiche Einzelabhandlungen sind in anderen Zeitschriften zerstreut oder besonders erschienen. Die zum Teil für das Gebiet äußerst wichtige spezielle mykologische und spezielle zoologische Literatur, besonders die ältere, kann an dieser Stelle keine Berücksichtigung finden. Besonders wichtige Lehr- und Handbücher, die in ausreichender Weise Literatur zitieren, sind:* **A. B. Frank**, *Die Krankheiten der Pflanzen. 2. Aufl., 3 Bde. Breslau 1895.* — **P. Sorauer** *(mit* **G. Lindau und L. Reh**), *Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 3. Aufl., 3 Bde. Berlin 1909 bis 1912. — Andere zum Teil speziellere Gegenstände behandelnde Schriften sind:* **J. Ritzema-Bos**, *Tierische Schädlinge und Nützlinge. Berlin 1891.* — **E. Bourcart**, *Les Maladies des Plantes. Paris 1910 (behandelt die Bekämpfungsmittel).* **O. Brefeld**, *Untersuchungen aus dem Gesamtgebiete der Pilzkunde. I bis XV. Seit 1872.* — **G. Delacroix et A. Maublanc**, *Maladies des Plantes cultivées. Paris 1904 (kurz).* — **Dieselben**, *Maladies des Plantes cultivées dans les Pays chauds. Paris 1911.* — **J. Eriksson und E. Henning**, *Die Getreideroste.* — **A. B. Frank und P. Sorauer**, *später* **Sorauer und Rörig**, *Pflanzenschutz (Auswahl und Anweisung für Landwirte). 5. Aufl. Berlin 1910.* — **R. Hartig**, *Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten. 3. Aufl. Berlin 1900.* — **M. Hollrung**, *Handbuch der chemischen Mittel gegen Pflanzenkrankheiten. Berlin 1898.* — **O. Kirchner**, *Die Krankheiten und Beschädigungen der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart 1906 (zum Bestimmen).* — **O. Kirchner und H. Boltshauser**, *Atlas der Krankheiten und Beschädigungen unserer landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Stuttgart 1902 (Tafelwerk).* — **H. Klebahn**, *Die wirtswechselnden Rostpilze. Berlin 1904.* — **H. Marshall Ward**, *Diseases in Plants. London 1901.* — **E. Rostrup**, *Plantepatologi. Kopenhagen 1902.* — **E. F. Smith**, *Bacteria in Relation to Plant Diseases. Washington 1905.* — **C. v. Tubeuf**, *Pflanzenkrankheiten, durch kryptogame Parasiten verursacht. Berlin 1895. — Zeitschriften und periodische Publikationen:* **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten**, *herausgegeben von P. Sorauer. Stuttgart, seit 1891.* — **Jahresbericht über die Neuerungen und Leistungen auf dem Gebiete des Pflanzenschutzes**, *herausg. v. M. Hollrung. Berlin, seit 1898. — „Pflanzenkrankheiten", auch „Bakterien" und „Pilze" in* **Botanischer Jahresbericht**. *Berlin, seit 1873.* — **Rivista di Patologia vegetale**, *herausg. v. A. N. und A. Berlese, 1892 bis 1904, v. L. Montemartini, Pavia, seit 1905.* — **Tijdschrift over Plantenziekten**, *herausg. v. J. Ritzema-Bos. Gent, seit 1895.* — **Phytopathology**, *Official Organ of the American Phytopathological Society. Ithaca, New York, seit 1911.* — **Praktische Blätter für Pflanzenschutz**, *herausg. v. C. v. Tubeuf, J. Weiß, L. Hiltner. Stuttgart, seit 1898.* — **Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde**. *Jena, seit 1887.* — **Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift**, *später* **Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft**, *herausg. v. C. v. Tubeuf. München, seit 1892.* — **Jahresberichte der Vereinigung für angewandte** *(früher: der Vereinigung der Vertreter der angewandten)* **Botanik**. *Berlin, seit 1903.* — **The Journal of Mycology**. *Manhattan Kansas, seit 1885. Zeitweilig herausg. vom U. S. Department of Agriculture. Jetzt Mycologia. Lancaster, Pa. — Zerstreute Arbeiten in anderen botanischen, gärtnerischen, land- und forstwirtschaftlichen Zeitschriften. — Publikationen staatlicher Institute, insbesondere:* **U. S. Department of Agriculture**, *Division of Vegetable Physiology and Pathology. Washington. Yearbook, seit 1894. Bulletins (Monographien), seit 1886. Circulars und Farmers' Bulletins (Ratschläge für Landwirte), seit 1885. S. auch Journal of Mycology.* — **Kaiserliche Biologische Anstalt** *für Land- und Forstwirtschaft in Dahlem, anfangs Abteilung des K. Gesundheitsamts. Berlin. Arbeiten, seit 1900. Mitteilungen, seit 1906. Flugblätter, seit 1901.* — **Kaiser Wilhelms-Institut** *für*

Digitized by Google

Landwirtschaft in Bromberg. Berlin. ***Mitteilungen****, seit 1908.* — ***Jahresberichte des Sonderausschusses für Pflanzenschutz*** *in „Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft", jetzt als „Krankheiten und Beschädigungen der Kulturpflanzen" in „Berichte über Landwirtschaft", herausg. im Reichsamte des Innern. Berlin, seit 1891.* — *Ein vollständigeres Verzeichnis der Zeitschriften und periodischen Publikationen findet sich in Hollrungs Jahresbericht.*

H. Klebahn.

Pflanzenkrankheiten.

Nicht parasitäre.

1. Einleitung. 2. Giftige Beimengungen der Atmosphäre. 3. Wassermangel und Wasserüberschuß. 4. Ungeeignete chemische Zusammensetzung der Bodens. 5. Niedrige Temperaturen. 6. Dunkelheit. 7. Verwundung.

1. Einleitung. Den durch Parasiten und übertragbare Giftstoffe verursachten Pflanzenkrankheiten stehen diejenigen gegenüber, die durch ungünstige Verhältnisse in der die Pflanze umgebenden leblosen Natur, d. h. durch ein Zuviel oder Zuwenig der im Boden und in der Atmosphäre wirksamen Faktoren, hervorgebracht werden. Ihnen schließen sich die Verwundungen an und ebenso diejenigen Schädigungen, die sich aus den Betrieben der menschlichen Kultur ergeben.

Hinsichtlich der allgemeinen Symptome gilt dasselbe, was über die Symptome der infektiösen Krankheiten gesagt ist. Eine scharfe Abgrenzung zwischen parasitären und nicht-parasitären Pflanzenkrankheiten läßt sich auch insofern nicht immer ziehen, als nicht selten die durch leblose Agentien entstandenen Schäden die Gelegenheit zur Ansiedelung von Parasiten geben.

Welche Ursachen in letzter Instanz die krankhaften Erscheinungen hervorrufen, d. h. welche physikalischen Anomalien (z. B. allzu hoher oder allzu niedriger Turgordruck) oder welche abnormen chemischen Vorgänge in den Zellen für das Zustandekommen jener Symptome verantwortlich zu machen sind, ist bisher erst für die wenigsten Fälle erforschbar gewesen. Wir werden daher bei der Anordnung unseres Stoffes in der Weise verfahren, daß wir die Frage nach den äußeren Eingriffen und den äußeren Lebensbedingungen, unter deren Einfluß die Pflanzen erkranken können, in den Vordergrund stellen.

Der folgende Bericht wird sich im wesentlichen auf die Erscheinungen beschränken, die in der freien Natur beobachtet worden und für den Praktiker von Bedeutung sind. Die Wirkungen der im Experiment angewandten Faktoren werden in dem Artikel „Zelle" behandelt werden.

2. Giftige Beimengungen der Atmosphäre. In großen Städten oder in ihrer nächsten Nachbarschaft, namentlich aber in der Nähe von rauchentwickelnden Fabriken kann der Fall eintreten, daß die Atmosphäre durch allzu hohen Gehalt an giftigen Beimengungen bestimmten Gewächsen gefährlich wird.

Vor allem kommt hierbei die schweflige Säure in Betracht, die bei Verwendung schwefelreicher Steinkohle sich entwickelt. Schon sehr geringe Mengen des Gases ($^1/_{500}$ Vol.-Prozent und noch geringere Mengen) können schwere Schädigungen der Vegetation herbeiführen. Ein relativ leicht erkennbares Symptom dieser Rauchvergiftung ist die Fahlfärbung der Blätter, deren Spreiten nur an den stärkeren Nerven noch grün bleiben und an den Interkostalfeldern vergilben und vertrocknen. Die Grenzen zwischen grünen und fahlen Spreitenteilen sind, falls Rauchschädigung vorliegt, scharf, — während bei ähnlicher Zerstörung durch Frost oder Sonnenbrand die gesunden und die deutlich erkrankten Stellen allmählich ineinander übergehen. — Die Aufnahme des giftigen Gases erfolgt durch die Blätter auf stomatärem wie auf kutikulärem Wege. Die Blätter der Nadelbäume nehmen weniger SO_2 auf als die der Laubbäume.

Der Chlor-Gehalt der Steinkohlen läßt bei ihrem Verbrauch Chlor- und Salzsäuredämpfe entstehen, die für das Gedeihen der dem Rauche ausgesetzten Pflanzen verhängnisvoll werden können. Ueber die Art der Schädigung, welche diese Bestandteile der Rauchgase herbeiführen, liegen noch keine befriedigenden Forschungsresultate vor: trockene Blattränder (Saumlinien) scheinen bei der Chlor-Vergiftung vorzuherrschen.

Leuchtgas ruft selbst bei der weitgehenden Verdünnung, in der es z. B. die Laboratoriumsluft verunreinigt, abnorme Wachstumserscheinungen hervor (Hemmung des Längenwachstums, Förderung des Dickenwachstums bei Bohnenkeimlingen u. a., „horizontale Nutation" usf.); für den Praktiker kommen wohl nur die oft sehr erheblichen Schädigungen in Betracht, welche die Wurzeln von Alleebäumen usw. durch das aus den Leitungsröhren ins Erdreich gelangte Leuchtgas erfahren können (violettgraue Färbung der Wurzeln).

Ruß verursacht keine erheblichen Störungen des Pflanzenlebens. Teerstaub scheint die Assimilation zu behindern, das Wachstum zu verlangsamen und andere Störungen hervorzurufen.

Asphaltdämpfe rufen an gerbstoffreichen Gewächsen (Rosa u. a.) Schwärzung

Digitized by Google

der Blattspreiten, zumal der zwischen den stärkeren Nerven liegenden Felder hervor.

3. **Wassermangel und Wasserüberschuß.** Eine sehr große Zahl von krankhaften Erscheinungen wird dadurch hervorgerufen, daß den Pflanzen im Boden zu wenig oder zu viel Wasser geboten wird, oder daß die Pflanzen die Fähigkeit zur Aufnahme ausreichender Wassermengen einbüßen oder schließlich dadurch, daß die Abgabe von Wasser auf dem Wege der Transpiration infolge der auf die oberirdischen Teile der Pflanze einwirkenden Bedingungen allzu reichlich oder allzu schwach ausfällt. Wassermangel und Wasserüberschuß können demnach im Pflanzenkörper auf verschiedene Weise zustandekommen.

3a) Wassermangel ruft zunächst Abnahme des Turgordruckes und die Erscheinungen des Welkens hervor: die unter normalen Umständen durch den Turgordruck der einzelnen Zellen gefestigten Pflanzenorgane werden schlaff und deformieren sich der Wirkung ihrer Schwere folgend. Ueber die Bedeutung des Turgorverlustes für das Wachstum der Pflanzen ist in dem Artikel „Zelle" nachzulesen.

Auch dann, wenn der Wassermangel nicht soweit geht oder solange anhält, daß die Existenz der von ihm betroffenen Individuen vernichtet wird, kann er schwere Schädigungen der Vegetation zur Folge haben.

In der Mehrzahl der Fälle wirkt Wassermangel entwickelungshemmend und verkürzend auf das Leben der Pflanzen oder ihrer einzelnen Teile und ferner verkürzend auf die einzelnen Perioden ihrer Entwickelung.

Auf trockenem Boden bleiben die Pflanzen kleiner als auf normal-wasserhaltigem; entstehen bei großer Dürre zwergartig zurückgebliebene Individuen, so spricht man von Nanismus (Verzwergung). Getreide bleibt infolge der Sommerdürre kurz im Stroh; die Verfärbung, welche Halme und Blätter zur Zeit der Reife annehmen, tritt abnorm früh auf (Notreife), — unabhängig davon, ob die Körner bereits entwickelt sind oder nicht. Erliegen die Halme dem Dursttod, noch bevor die Blütenstände sich entwickelt haben, so spricht man von Verscheinen des Getreides.

Auch die Früchte der Obstbäume werden unter dem Einfluß des Wassermangels „notreif": sie bleiben klein und fallen vorzeitig ab („fuchsige", d. h. rot verfärbte Pflaumen u. a. m.).

Hitzelaubfall, d. h. vorzeitiger Laubverlust infolge allzu starker Hitze tritt an Nadel- und Laubbäumen auf, wenn ihnen der Boden nicht mehr ausreichende Mengen Feuchtigkeit zu liefern vermag; namentlich das im Innern der Krone gelegene Laub, soweit es noch vom direkten Sonnenlicht getroffen wird, „verbrennt" und fällt ab (Aesculus, Ulmus, Tilia, Robinia u. a.).

Die Röte (Rotfärbung) des Getreides und die Röte oder der Sommerbrand des Hopfens, bei welchem Rotfärbung oder „Verbrennen" des Laubes eintritt, werden durch Dürre und Hitze hervorgerufen; das gleiche gilt für bestimmte Formen des roten Brenners der Weinrebe (Laubrausch), bei welchem die Blätter vom Rande her sich verfärben und vertrocknen.

Für die Blattbräunung der Zimmerpflanzen ist in vielen Fällen ebenfalls die Trockenheit der Luft verantwortlich zu machen.

Vielleicht gehört auch der Milchglanz, den die Blätter mancher Pruneen annehmen (Spalieraprikosen, Kirschen u. a.), in diese Reihe krankhafter Laubveränderungen.

In trockenen Sommern tritt an den Kartoffeln leicht „Kindelbildung" auf, das heißt die Augen der neu gebildeten Knollen treiben aus und liefern ihrerseits Knollen, die breit auf der Mutterknolle aufsitzen. Auf gleiche Witterungs- und Wasserverhältnisse soll die Fadenbildung (filositas) der Kartoffeln zurückzuführen sein: aus den Augen der Knollen entwickeln sich fadendünne Sprosse.

Nach Bonnier und Sorauer schwitzen die Blätter vieler Pflanzen an den Spaltöffnungen, vielleicht auch an sehr feinen Rissen der Cuticula zuckerreichen Saft aus (Honigtau, melligo): Ausscheidungen dieser Art kommen — ganz unabhängig von Parasiten — nach Sorauers Vermutung dann zustande, wenn bei kräftiger Belichtung die Transpiration der Blätter plötzlich steigt.

Blätter, welche ständig wehenden Winden ausgesetzt sind, verlieren namentlich an ihrem Rande sehr viel Wasser (Hansen, Warming) und bekommen braune Säume. Blätter mit craspedodromer Nervatur sind diesen Windschäden nach Bruck mehr ausgesetzt als Blätter mit camptodromen Nerven.

Die durch Wassermangel hervorgerufenen Veränderungen im Gewebebau der Pflanzen sind wenig auffallend (Verstärkung der Cuticula und der Epidermisaußenwand, Verstärkung der Behaarung, Reduktion der Intercellularräume im Mesophyll u. dgl. m.) und äußern sich im allgemeinen nicht in der Weise, daß man bei ihrem Auftreten von Pflanzenkrankheiten sprechen könnte. Als Lithiasis ist das nach trockenen Sommern abnorme Steinigwerden der Birnen beschrieben worden: unter der lebendigen Epidermis stirbt stellenweise das Parenchym des Fruchtfleisches ab; um die nekrotischen Stellen bilden sich mantelartige umfangreiche Gruppen von Steinzellen. — Auch die „Stipp-

Digitized by Google

flecken" der Aepfel werden von einigen Autoren als Folge ungenügender Wasserversorgung betrachtet (eingesunkene, sich bräunende, verkorkte Zellpartien).

Unzweifelhaft ruft die Wassernot in den Pflanzen mannigfaltige Zustände hervor, die zu keinem der hier angeführten Symptome Anlaß geben und sich überhaupt der unmittelbaren Beobachtung entziehen. Es mag noch die Tatsache erwähnt werden, daß durch Wassermangel die Pflanzen dem Angriff seitens parasitischer Pilze leichter zugänglich werden können (Valsa oxystoma auf Alnus nach Appel).

3b) Die durch abnorme Wasserfülle hervorgerufenen Symptome kommen zustande, wenn von den Wurzeln allzuviel Wasser aufgenommen wird, und namentlich wenn die Wasserabgabe seitens der transpirierenden oberirdischen Pflanzenteile unter das Normalmaß sinkt.

Bei stark herabgesetzter Transpiration nehmen die in Ausbildung begriffenen Organe der Pflanzen mehr oder minder auffällige abnorme Gewebestruktur an; vor allem handelt es sich um Hemmung der normalen Histogenese: die Zellmembranen bleiben dünn, die Cuticula schwach, das Haarkleid dürftig. Alle Differenzierungsprozesse im Grund- und Leitbündelgewebe werden gehemmt: die Ausbildung der mechanischen Gewebe bleibt unvollkommen, im Mesophyll sind Palisaden- und Schwammparenchym nicht so scharf geschieden wie im normal transpirierenden Blatt oder werden sogar durch ein homogenes Assimilationsgewebe ersetzt u. dgl. m. Unzweifelhaft wird durch diese Hemmungserscheinungen (Hypoplasie) die Leistungsfähigkeit der Gewebe und namentlich die Widerstandsfähigkeit der Organe gegenüber verschiedenen Gefahren — Vertrocknen bei später eintretendem Wassermangel, Pilzinfektion u. a. — herabgesetzt. Uebrigens sind die hier angeführten und ähnliche Erscheinungen der Gewebehypoplasie keineswegs spezifische Merkmale allzu schwach transpirierender Pflanzen; vielmehr können auch durch ganz andersartige pathogene Faktoren dieselben Gewebeanomalien hervorgerufen werden.

Abnorme Wasserfülle der Gewebe verursacht in nicht wenigen Fällen abnorm starkes Streckungswachstum der Zellen. Besonders auffallend wird das abnorm gesteigerte Wachstum (Hypertrophie) bei den Lentizellen vieler Holzgewächse: bei Berührung mit flüssigem Wasser oder beim Aufenthalt in sehr feuchter Atmosphäre verwandeln sich die Lentizellen in ansehnlich große, kristallinisch glänzende Häufchen unvollkommen getrennter, stark hypertrophierter Zellen (Lentizellenwucherungen). Aehnliche, aber viel umfangreichere Wucherungen können — ebenfalls durch starke Hypertrophie der Zellen — am sekundären Rindengewebe zustande kommen (Rindenwucherungen), die den Kork beulenartig auftreiben oder sprengen (Wassersucht oder Oedem der Goldjohannisbeere, vgl. Fig. 1).

Fig. 1. Lentizellen- und Rindenwucherungen an einem Zweigstück von Ribes aureum. Nach Küster.

An Blättern und jugendlichen Achsenteilen, auch an Blüten und Früchten kommen unter gleichen Bedingungen sogenannte Intumeszenzen zustande, d. h. eng umgrenzte hypertrophische Wucherungen, an welchen sich meist nur Mesophyll- bezw. Rindenschichten beteiligen; durch sehr starkes Streckungswachstum ihrer Zellen (senkrecht zur Oberfläche des Organs) wird die über ihnen liegende Epidermis gesprengt (vgl. Fig. 2). Seltener treten derartige Intumeszenzen unter dem Kork älterer Achsenteile auf, den jene ebenfalls zu zersprengen imstande sind.

Auch die zarten, wolligen Anflüge, die man zuweilen auf der Innenseite der Erbsenhülsenschalen findet, sind Intumeszenzen. Vielleicht sind mit ihnen auch die fädigen Exkreszenzen („Wollstreifen") im Kernhaus der Aepfel zu vergleichen. Als Anfangsstadien der Intumes-

zenzen betrachtet Sorauer die an den Blättern vieler Gewächshauspflanzen auftretende Gelbsprenkelung (aurigo).

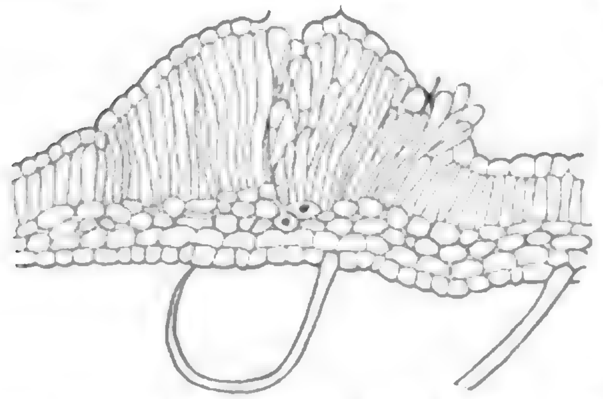


Fig. 2. Intumeszenz eines Blattes von Cassia tomentosa. Nach Sorauer.

Alle Gewebe, welche nach abnormer Turgorsteigerung und durch Hypertrophie zustande kommen, nennt Küster hyperhydrische Gewebe; zu ihren Kennzeichen gehören zarte Membranen, wasserheller Zellinhalt, meist große Interzellularräume. Alle hyperhydrischen Gewebe sind kurzlebig und vertrocknen an der Luft mehr oder minder schnell.

Auch ohne vorangehendes Zellenwachstum können bei allzu reichlicher Wasserzufuhr und nach abnormer Steigerung der Gewebespannungen fleischige Wurzeln und Achsenteile zerreißen.

Daß allzu reichliche Wasserzufuhr auch unmittelbar den Tod von Pflanzenzellen herbeiführen kann, lehrt das Verhalten der Pollenkörner vieler Pflanzen: die Körner platzen bei Berührung mit Wasser.

4. Ungeeignete chemische Zusammensetzung des Bodens. Wenn den Pflanzen die Möglichkeit fehlt, vom Boden her sich mit den erforderlichen Aschebestandteilen zu versorgen und diese in hinreichender Menge ihren einzelnen Organen zuzuführen, so können Krankheitserscheinungen zustande kommen, die den nach atmosphärischer Vergiftung oder bei Wassermangel auftretenden nicht unähnlich sind: die Pflanzen bleiben klein, oder es kommt zu vorzeitigem Absterben der unterernährten Individuen oder einzelner Teile von ihnen; von anderen Symptomen wird später noch die Rede sein.

Allgemein gültige spezifische Merkmale, welche zuverlässige Rückschlüsse auf die dem Boden und den Pflanzen fehlenden Stoffe zu ziehen gestatteten, lassen sich zurzeit nicht anführen.

Stickstoffmangel führt zu Zwergwuchs und auch zu Sterilität. Bei Rüben, Kartoffeln u. a. wurde abnorm hellgrüne Färbung der Blätter beobachtet; später vertrocknen diese mit bräunlich-gelber Farbe. Von Hungeretiolement spricht Noll, wenn Wurzeln bei N-armer Ernährung zu abnormer Länge heranwachsen (Triticum).

Bei den von den assimilierenden Mikroorganismen abhängigen Pflanzen (Leguminosen) treten die Symptome des Stickstoffhungers (Zwergwuchs) auf, wenn im Boden keine geeigneten Bakterien vorhanden sind.

Bei Kalimangel beobachtet man vorzeitiges Absterben der Pflanzen oder einzelner Teile von ihnen (Flecken am Rande und an den Interkostalfeldern der Spreiten, Spitzendürre an den Zweigen der Obstbäume u. dgl.); beim Getreide tritt reichliche Strohbildung ein, während die Körnerbildung reduziert wird: bei Rüben- und Knollengewächsen wird reichlich Kraut produziert, während die unterirdischen Speicherorgane in der Entwickelung zurückbleiben. Bei Nicotiana, Solanum u. a. treten Krümmungen der Blattspreiten ein; die Oberseiten werden konvex.

Eisenmangel ruft, wie schon seit Gris (1843) bekannt, Gelbsucht (Chlorose, Ikterus) hervor· die Blätter ergrünen nicht normal, sondern werden gelblich (bleichsüchtig) oder nehmen nur an ihrer Spitze normale Grünfärbung an. Im Boden sind die für die Pflanze erforderlichen Fe-Mengen im allgemeinen vorhanden; doch können bei ungewöhnlich schnellem Wachstum chlorotische Sprosse infolge unzulänglicher Eisenzufuhr gebildet werden; ob auch andere Ernährungsanomalien imstande sind, die Eisenversorgung der Pflanzen oder einzelner Teile bestimmter Individuen in demselben Sinne zu beeinflussen und an Chlorose erkranken zu lassen, bedarf näherer Untersuchung.

Calciummangel ruft ebenfalls fleckige Verfärbung und Vertrocknen der Blattspreiten hervor; die Wurzeln stellen ihr Wachstum ein und bräunen sich; auch scheinen Verarbeitung und Fortleitung der Assimilationsprodukte durch Ca-Mangel ungünstig beeinflußt zu werden.

Phosphormangel läßt die Blätter von den Rändern der Spreite her mit schwarzbrauner oder graugrüner Farbe zugrunde gehen. Keimlinge entwickeln sich auf P-freiem Substrat nur solange, bis der P-Vorrat des Samens aufgebraucht ist. Bei Kiefern wurde bei P-Mangel blaurote Verfärbung der Nadeln beobachtet.

Aehnliche Karenzerscheinungen wie bei dem Fehlen eines der nötigen Mineralbestandteile, treten auch dann auf, wenn zwar alle erforderlichen Stoffe vorhanden sind, aber nicht in genügender Menge den Pflanzen geboten werden. Hierauf sind die bei Dichtsaat eintretenden Symptome (Zwergenwuchs usw.) zurückzuführen.

Nach unzweckmäßiger Düngung kommt es zu abnormer Anreicherung des Bodens

Digitized by Google

an bestimmten Elementen. Besonders auffällig sind die Folgen des Stickstoffüberschusses, dem gegenüber verschiedene Pflanzen in verschieden hohem Grade widerstandsfähig sind. Bei Rieselfeldkultur und nach Fäkaldüngung in anderer Form beobachtet man Bräunung der Gefäße, Braunfleckigkeit der parenchymatischen Teile (z. B. die sogenannte Eisenfleckigkeit oder das Buntwerden der Kartoffelknollen), ferner geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber pathogenen Bakterien. Bei Kartoffeln ist nach „Ueberdüngung" mit N die Stärkespeicherung geringer als unter normalen Umständen, die Blattflächen werden stattlicher, der Chlorophyllapparat reichlicher; beim Rhabarber scheint N-Ueberdüngung eine Verminderung der Säure herbeizuführen u. dgl. m.

Bei überreichlicher Ernährung nach Düngung treten auch viele von denjenigen Veränderungen an vegetativen Pflanzenteilen und an Blüten auf, die als teratologische gewöhnlich bezeichnet werden: laciniate Formen der Blattspreiten, Ascidien, abnorme Blattstellungen, Verbänderungen, Zwangsdrehungen, Verlaubung der Nebenblätter, Füllung und Vergrünung der Blüten, Durchwachsung der Infloreszenzen usw. Den Krankheiten der Pflanzen können diese Erscheinungen wohl nur insofern zugerechnet werden, als bei manchen von ihnen die Fortpflanzung der Gewächse unmöglich gemacht werden kann (Füllung der Blüten, Vergrünung der Geschlechtsorgane).

Eine Vergiftung des Bodens findet bei Rauchüberflutung des Geländes statt: bis zu einer Tiefe von 30 cm kann schweflige Säure im Boden nachweisbar sein.

Abwässer, zumal die von Steinkohlengruben stammenden, enthalten reichlich Chlornatrium, unter dessen Einfluß die Produktion der Wiesen und Felder stark zurückgeht: die Mineralbestandteile des Bodens werden ausgewaschen, der Boden selbst verdichtet sich, und sein Gehalt an osmotisch wirksamen Bestandteilen erschwert den Wurzeln die Aufnahme des Wassers.

Ob das Roncet des Rebstockes, welches durch Bildung fein zerschlitzter Blattspreiten (Petersilienkrankheit, Verkräuselung) und Stauchung der Internodien (court-noué) sich kennzeichnet, ursächlich auf Anomalien in der Zusammensetzung des Bodens zurückzuführen ist, bedarf noch näherer Untersuchung.

Daß die Wurzeln der Pflanzen Stoffe in den Boden ausscheiden können, durch welche dieser für die gleiche oder für andere Species an guten Qualitäten verliert, ist keineswegs unwahrscheinlich.

5. Niedrige Temperaturen. Niedrige Temperaturen wirken indirekt schädigend auf die Pflanzen, insofern als schon bei + 2 bis 4° die Wurzeln vieler Gewächse nicht mehr imstande sind, aus dem Boden die erforderlichen Mengen Wasser aufzunehmen, so daß die Pflanzen welken („erfrieren") und schließlich vertrocknen.

Das Süßwerden der Kartoffeln bei einer Temperatur von 0 bis 2° erklärt sich dadurch, daß der Verbrauch des durch Abbau der Stärke entstehenden Zuckers sehr gering wird; der Zucker kann bis zu 2,5 % des Frischgewichtes sich anhäufen.

Direkte Schädigungen können dadurch zustande kommen, daß dem Protoplasma bei der Eisbildung in gefrierenden Pflanzenteilen so viel Wasser entzogen wird, daß es zugrunde geht; Pflanzen, welche die Eisbildung in ihrem Innern und den damit verbundenen Wasserverlust der Zellen ertragen, nennt man eisbeständig; sie verfallen dem Gefriertod erst dann, wenn die Temperatur noch weiter sinkt und ein (bei verschiedenen Arten ungleich tief liegendes) Minimum unterschreitet (Molisch, Mez).

Lokalen Schädigungen durch Frost sind namentlich die Blätter der in Entfaltung begriffenen Knospen, namentlich ihre Spitzen ausgesetzt; die Triebspitzen der Laubbäume können durch Maifröste abfrieren, die Blüten der Obstbäume getötet werden. Die durch Frost getöteten Stellen der Blätter und Blüten bräunen sich.

Das Holz der Bäume spaltet sich zuweilen im Winter mit schußartigem Knall, so daß Frostspalten entstehen; durch Frost getötete Stellen der Baumrinde sinken ein und vertrocknen mit runzeliger Oberfläche (Frostplatten). Ueber den Krebs, der an erfrorenen Stellen entstehen kann, und über die Frostleisten vergleiche das unter 7 Gesagte. Im Herbst beschleunigt Frost den Laubfall (Frostlaubfall).

Einfluß auf das Wachstum, derart daß abnorme Gestalten entstehen, gewinnt Frost wohl nur dadurch, daß die Entwickelung der Blätter durch tiefe Temperaturen gehindert werden kann. Bei Acer, Syringa u. a. entstehen dann löffelartig verbogene Spreiten.

Daß nach Frost die Blattspreiten parallel zu den Seitennerven in schmale Streifen zerreißen, kann man bei Aesculus, Carpinus u. a. beobachten.

Frostblasen entstehen nach lokaler reichlicher Eisbildung im Blattgewebe, indem sich die Epidermis von den tiefer liegenden Gewebeschichten trennt und abhebt (Noack).

6. Dunkelheit. Alle Abweichungen von der Norm, welche bei ungenügender Belichtung oder völligem Lichtabschluß eintreten, werden als Etiolement bezeichnet.

Hinsichtlich der Gewebebildung gleichen die Anomalien denjenigen Hemmungsbildungen, die nach Herabsetzung der Transpiration zu beobachten sind (s. oben). Dazu

Digitized by Google

kommt, daß die meisten Gewächse im Dunkeln nicht imstande sind, Chlorophyll zu bilden: die Chromatophoren der Mesophyllzellen usw. nehmen einen hellgelben Ton an; ihr Pigment („Etiolin") ist wohl mit Karotin identisch.

Der Habitus der bei abnorm schwachem Lichtgenuß erwachsenen Pflanzen unterscheidet sich von dem der normalen durch beträchtliche Verlängerung der Internodien (Vergeilen, Verspillern); auch die Blattstiele werden abnorm lang, während die Spreiten im allgemeinen mehr oder minder stark reduziert erscheinen.

Die Zellen und Gewebe etiolierter Pflanzen unterscheiden sich sehr wesentlich von denen der normalen Individuen und zwar — abgesehen von der Farbe der Chromatophoren — in ganz ähnlichem Sinne wie bei den in feuchter Luft erwachsenen Pflanzen; die Erscheinungen der Gewebshypoplasie sind dieselben wie bei diesen (s. oben).

Das Lagern des Getreides und anderer Feldfrüchte ist die Folge einer ungenügenden Ausbildung der mechanischen Gewebe; ob diese bei dichtstehenden Pflanzen durch den Lichtmangel zustande kommt, unter dem die unteren Internodien zu leiden haben, oder durch herabgesetzte Transpiration (s. oben), muß dahingestellt bleiben.

7. **Verwundung.** Verwundungen des Pflanzenkörpers kommen zustande, wenn der Frost Spalten ins Holz der Bäume reißt, wenn infolge starker Wasseraufnahme oder Zellenhypertrophie die Gewebespannungen die Organe zum Reißen bringen (s. o. S. 648 und Fig. 1), durch lokale Nekrose nach Einwirkung von Giften, ferner durch mechanische Eingriffe des Menschen, durch Tiere, durch Wind, Hagel und Schneedruck, schließlich durch Blitzschlag. Aehnliche Wirkungen wie durch mechanische Trennung lebender Anteile kommen durch lokale Tötung des Gewebes (z. B. nach Frost) zustande.

Jede Verwundung bedeutet auch dann, wenn sie nicht mit Abtrennung von Organen oder deren Zerstückelung verbunden ist, einen Substanzverlust für die Pflanze: zum mindesten die von der Verwundung direkt betroffenen und sehr häufig auch die in der nächsten Nachbarschaft der Wundfläche gelegenen, unverletzt gebliebenen Zellen gehen zugrunde, da eine Regeneration verletzter Zellen bei höheren Pflanzen im allgemeinen nicht eintritt, und die intakten, aber bloßgelegten Zellen durch allzu starke Transpiration gefährdet werden. Sehr beträchtlich können die Substanzverluste für die verwundeten Pflanzen werden, wenn Leitungsbahnen von der Wunde getroffen worden sind (Abzapfen des Birkenweins, Bildung des Manna auf Fraxinus ornus, Kautschukgewinnung u. dgl. m.); der Turgordruck der unverletzt gebliebenen Zellen steigt infolge des Wundreizes in der Nähe der Wunden ganz erheblich und führt (Molisch's Untersuchungen) zu mehr oder minder reichlicher Saftauspressung (Palmwein aus verletzten Palmeninfloreszenzen).

Ferner wird jede Wunde für Gesundheit und Leben der Pflanze dadurch bedeutungsvoll, daß sie den Parasiten, zumal denjenigen, welche unverletzte Pflanzenorgane nicht anzugreifen imstande sind (Wundparasiten), bequeme Eingangspforten erschließt.

Die Organbildung der Pflanzen wird durch Verwundung und Verstümmelung hauptsächlich insofern beeinflußt, als durch Entgipfelung der Zweige und andere Eingriffe die Seitenknospen zu vorzeitigem oder besonders lebhaftem Wachstum angeregt werden können, so daß das typische Verzweigungsbild mehr oder minder auffällig alteriert wird („Kuhbüsche" nach Verbiß durch weidende Tiere u. dgl. m.). Ueber die regenerative Neubildung von Organen unter Vermittelung eines Callus s. unten.

Ausführlicher ist über den Einfluß der Verwundung auf die Gewebebildung zu sprechen.

Unter Callus versteht man ein parenchymatisches, homogenes oder wenig differenziertes Gewebe, das an den Wundflächen von Wurzeln, Achsen oder Blättern entsteht, wofern jene nicht zu allzu starker Transpiration genötigt werden. Der Callus kann sich in ganz geringer Mächtigkeit entwickeln, so daß er erst bei mikroskopischer Untersuchung erkennbar wird (im einfachsten Fall Streckung der den Wundflächen benachbarten Zellen: Callushypertrophie an den Wunden saftiger Blätter u. a.) — oder bei energischer Zellteilung (Callushyperplasie) zu umfangreichen Gewebepolstern heranwachsen (vgl. Fig. 3); die im Callusgewebe auftretenden Kernteilungen folgen dem Typus der Karyokinese.

Die Organe krautiger Pflanzen bilden schwachen Callus, die Achsen der Holzpflanzen im allgemeinen starken Callus aus. Leitbündel und Grundgewebe sind stets in erheblich höherem Maße an der Callusbildung beteiligt als die Zellen der Epidermis. In besonders hohem Maße für Callusbildung befähigt sind die Cambien der Bäume, ferner die Zellen ihrer sekundären Rinde sowie das Mark. Das Cambium reagiert auf den Wundreiz in der Weise, daß seine langgestreckten Zellen sich segmentieren und durch sehr lebhaften Fortgang der für seine Wachstumsweise charakteristischen tangentialen Teilungen ein aus nahezu isodiametrischen Zellen bestehendes Gewebe liefern, aus deren Anordnung allerdings nur während

Digitized by Google

der Anfangsstadien der Callusbildung ihre Entstehungsweise sich ableiten läßt.

In vorgeschritteneren Stadien der Callusentwicklung treten in dem anfangs homogenen Gewebe Differenzierungen ein; namentlich

Fig. 8. Callus an Pappelstecklingen. Die Schnittflächen sind vom Callus vollständig überwallt. Natürliche Größe. Nach Küster.

erscheinen Tracheïden und Tracheïdengruppen und ferner Cambien, deren Zellteilungstätigkeit im wesentlichen mit der des normalen Verdickungsringes übereinstimmt und ein kurzgliedriges Holzgewebe zustande kommen läßt. Typisch entwickelte Epidermis ist beim Callus niemals vorhanden; dünnwandige Korkschichten treten an der Oberfläche älterer Calli auf. Am Lichte ergrünt das Callusgewebe; seine Chlorophyllkörner bleiben aber spärlich und schwach gefärbt.

Trägt man giftige Lösungen (z. B. von Kupfersalzen) auf die Blätter geeigneter Pflanzen (z. B. Brassica) auf, so wuchern an denjenigen Stellen, an welchen die Zellen getötet worden sind, Callusgewebe hervor, die in ihrem Typus an die oben beschriebenen Intumeszenzen (vgl. Fig. 2) erinnern und mit ihnen leicht verwechselt werden können (v. Schrenk, Küster).

Der durch Hyperplasie entstandene Callus ist in sehr vielen Fällen und namentlich dann, wenn er sich aus zahlreichen Zellenschichten aufbaut, zu regenerativer Neubildung von Sproß- und Wurzelvegetationspunkten befähigt. Stark entwickelte Calli an Laubholzstecklingen u. a. produzieren neue Sprosse oft in sehr großer Zahl und dichter Anordnung. Abnorme Formverhältnisse (Verbänderungen oder Fasciationen, abnorme Blattstellungen u. a. m.) sind bei den callusbürtigen Sproßen eine häufige Erscheinung.

Eine der Callushypertrophie verwandte Erscheinung ist die Bildung der Thyllen. Als solche werden blasenförmige Auswüchse der den Gefäßen anliegenden lebenden Zellen des Xylems bezeichnet, welche an den unverdickten Membranstellen der Gefäße in das Lumen der letzteren hineinwachsen. Durch Füllung der Gefäßlumina in der Nähe der Wundfläche tragen sie zum Verschluß der letzteren bei. Die Thyllen sind meist dünnwandig und erfahren nur in seltenen Fällen Zellteilungen. Auch unabhängig von Verwundungsreizen entstehen Thyllen in den älteren Anteilen des Holzkörpers (siehe den Artikel „Gewebe der Pflanzen"). — Auch Harzgänge und Siebröhren, sogar Interzellularräume können durch thyllenartige Wachstumsprodukte der Nachbarzellen mehr oder minder vollkommen verschlossen werden. — Der Verschluß verletzter Milchröhren erfolgt durch Membranbildung, durch Coagulationspfropfe oder durch Wachsen benachbarter Zellen, die das Lumen der Milchröhre zusammendrücken.

Wundkork entsteht namentlich nach Verwundung primärer Gewebe, vorausgesetzt, daß der Wundfläche wenigstens ein bescheidener Grad von Transpiration möglich ist. Der Wundkork ist dünnwandig — auch bei Pflanzen, deren normaler Stammkork dickwandig ist — und besteht meist nur aus wenigen Zellenlagen. Er überzieht die Wundflächen in zusammenhängender Schicht und ersetzt den verletzten Organen das normale Hautgewebe. Bei den Durchlässigkeitsverhältnissen verkorkter Membranen kann es nicht zweifelhaft sein, daß der Wundkork die verletzten Organe vor allzu starker Transpiration bewahrt und vor Parasiten und Fäulnisbakterien erfolgreich zu schützen vermag. Wundkork entsteht im Innern von Pflanzenorganen auch dann, wenn an irgendwelchen Stellen Zellen oder Zellengruppen abgestorben sind; rings um den nekrotischen Herd bildet sich ein hohlkugelähnlicher Mantel aus regelmäßig radial gereihten Korkzellen. Die Bildung des Wundkorks dürfte in beiden Fällen durch die Wirkung der aus toten Zellen stammenden Zersetzungsprodukte auf die lebende Nachbarschaft veranlaßt werden.

Nach Verletzung der Achsen von Laub- oder Nadelhölzern reagieren nicht nur die der Wundfläche benachbarten Cambiumzellen mit Callusbildung (s. oben), sondern auch noch in beträchtlichem Abstande von der Wundfläche — nicht selten mehrere Centi-

Digitized by Google

meter weit von ihr — wird der Dickenzuwachs der verletzten Achsen beeinflußt: es entsteht in abnormer Reichlichkeit ein parenchymreiches, faserarmes Holz, das Wundholz, dessen Abweichungen vom normalen Xylem um so beträchtlicher sind, je näher es der Wunde liegt. In der Nachbarschaft der letzteren entsteht nach Segmentierung der Cambiumzellen (s. oben) kurzzelliges, unter Umständen ganz parenchymähnliches, in größerem Abstande langzelliges Wundholz. Bei Bäumen, deren normales Holz Harzgänge enthält, ist das Wundholz besonders reich an solchen; bei Abies enthält das Wundholz Harzgänge, obwohl das normale frei von ihnen ist. Bei Caragana fehlen dem normalen Holz Parenchymzellen; im Wundholz sind sie reichlich vorhanden.

Das normale Cambium findet früher oder später Anschluß an das im Callus gebildete. Da dieser sich nach Bloßlegung des Holzkörpers (Querwunden, Schälwunden usw.) wulstartig über den letzteren legt, nimmt auch der über der Wunde neu entstehende Holzkörper wulstähnliche Formen an (Ueberwallung, Verwallung). Ist die Wundfläche sehr umfangreich, so wird sie erst allmählich in jahrelanger Wachstumstätigkeit von den zentripetal vorrückenden Ueberwallungswülsten bedeckt. Seiner histologischen Struktur nach ist das Holz der letzteren als Wundholz zu bezeichnen. Form und Größe der Ueberwallungsholzmassen hängen natürlich von Form und Größe der Holzwunde ab. Frostleisten bilden sich bei Verheilung der infolge von Frost entstandenen, den Holzkörper der Bäume radial zerklüftenden Frostspalten: die kielförmigen Wundholzmassen können, wenn dieselben Wunden von neuem aufreißen, allmählich ansehnliche Höhe erreichen.

Das Holz der Ueberwallungswülste ist histologisch dadurch gekennzeichnet, daß seine parenchymatischen Elemente oft gebogenen, geschlängelten Verlauf aufweisen oder stellenweise knäuelartig gruppiert erscheinen (vgl. Fig. 4). Holzmassen, die durch eine derartige Verbiegung ihrer Elemente gekennzeichnet werden, heißen Masern (Maserknollen, Maserkröpfe). Abnorme Häufung der Adventivknospen, wie sie nach Verwundung vielfach eintritt, fördert die Bildung von Masern. Unabhängig von Verwundung tritt die gleiche Desorientierung der Xylemelemente ein, wenn infolge irgendwelcher Ernährungsanomalien die Markstrahlen eines Holzkörpers abnorm breit werden (Frank). Das Wellenholz (Wimmer), das nach starkem, longitudinal wirkendem mechanischem Drucke entsteht, stimmt hinsichtlich des Faserverlaufs im wesentlichen mit dem Maserwundholz überein — wie überhaupt Wundholz und das unter starkem mechanischem Druck gebildete Holz in mehr als einer Beziehung histologisch miteinander übereinstimmen. Die Actiologie der Masern ist keineswegs hinreichend

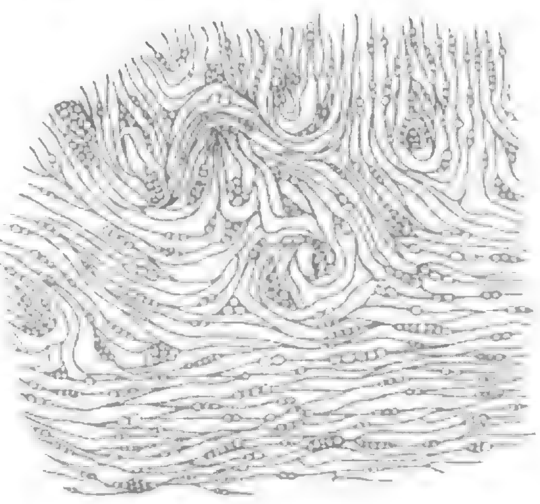


Fig. 4. Tangentialer Längsschnitt aus dem Wundholz von Abies cephalonica. Oben Uebergang zum normalen Faserverlauf, unten Verlauf der Fasern dem Wundrand entlang, in der Mitte knäuelförmig gruppierte Zellen. Nach Mäule.

klar. Die Rindenknollen (Knollenmasern) der Buche stellen maserähnlich gebaute Holzkerne dar, die isoliert im Rindengewebe der Buche liegen; sie finden sich stets nur an den Hauptstämmen des Baumes und lassen sich leicht ablösen. Die Rindenknollen bilden sich im Anschluß an Präventivknospen oder schwache Kurztriebe des Hauptstammes oder unabhängig von solchen.

Beim sogenannten Krebs (Carcinom, Frostkrebs) der Bäume handelt es sich um eine unvollkommene Heilung der durch Frost oder andere schädigende Faktoren entstandenen Wunden: es bilden sich an diesen zunächst typische Umwallungswülste; da aber das parenchymreiche Gewebe der letzteren gegen Frost wenig widerstandsfähig ist und in dem seiner Bildung folgenden Winter durch Kälte leicht getötet werden kann, bildet sich auf ihm ein neuer Ueberwallungswulst Man spricht von geschlossenem Krebs, wenn die Wundfläche bis auf einen schmalen Spalt verschlossen wird; bleibt eine breite Wundfläche frei, so liegt offener Krebs vor (vgl. Fig. 5). Mit jeder neuen Umwallung gewinnt der Krebs an Umfang und kann schließlich den ganzen Stamm umfassen.

Die Bezeichnung Krebs (oder Carcinom) für die hier geschilderten Gebilde ist insofern keine glückliche, als diese mit dem „Krebs" der Tiere und Menschen weder ätiologisch noch histogenetisch übereinstimmen und weder die Malignität noch die

Digitized by Google

Uebertragbarkeit mit ihm teilen. Nur der Krebs der Rüben, dessen Aetiologie noch unerforscht ist, scheint in den wesentlichen Punkten mit dem Carcinom der Tiere übereinzustimmen (Jensen).

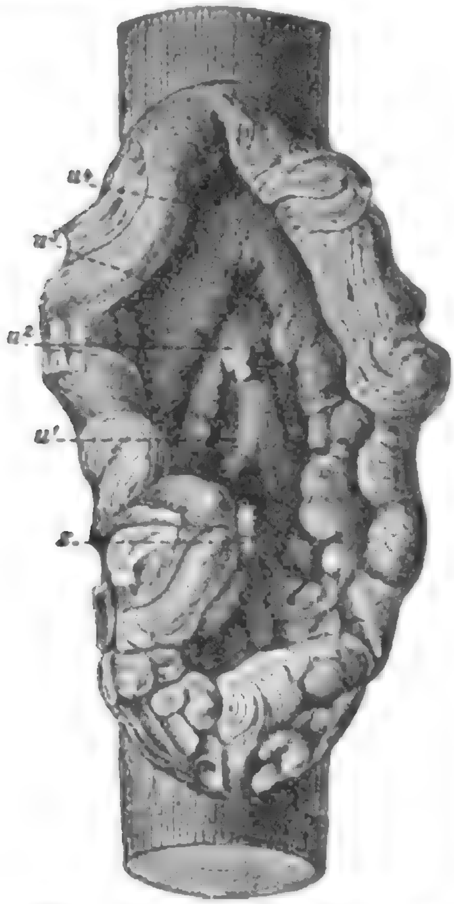


Fig. 5. Offener Krebs des Apfelbaumes. z Rest des Zweigstumpfes, u^1, u^2, u^3 und u^4 die verschiedenen Jahrgänge der Krebswucherung. Nach Sorauer.

Aus unvollkommen geheilten Spaltwunden sickert bei verschiedenen Bäumen ständig ein schleimiger, zuckerreicher Saft (weißer Schleimfluß der Eichen, Birken u. a., roter Schleimfluß der Buchen, brauner Schleimfluß der Kastanien, Pappeln u. a.), welcher wegen der in ihm lebenden Mikroorganismen (Saccharomyces-, Torula-, Micrococcus-, Leuconostoc-Arten u. a.) Interesse beansprucht.

Bei den Amygdalaceen tritt nach Verwundung, unter Umständen offenbar aber auch unabhängig von Wundreiz Gummifluß (Gummosis) ein. Durch gummöse Verflüssigung jugendlicher Teilungsprodukte des Cambiums bilden sich „Gummidrüsen“, die aufbrechen und ihren Inhalt nach außen ergießen können. Aehnliche Verflüssigungsvorgänge wie bei Prunus treten bei Citrus-Arten auf. Welche Faktoren bei Acacia Senegal und anderen gummiliefernden Acacia-Arten (Gummi arabicum) die Verflüssigung des Rindengewebes (Gummigallen) hervorrufen, ist noch nicht genügend geklärt.

Gummibildung als Reaktion auf Verwundung tritt übrigens auch bei sämtlichen Bäumen unserer Laub- und Nadelwälder ein, wenn der Holzkörper verletzt worden ist: in den der Wundfläche anliegenden Schichten füllen sich die Gefäße mit Gummi (Wundgummi); das mit ihm durchtränkte Holz wird in seinem Aussehen und seinen physikalischen Eigenschaften dem Kernholz ähnlich. Frank nennt dieses mit Wundgummi imprägnierte Holz Schutzholz (Kienholz der Coniferen).

Wenn der normale Fortgang des Wachstums einer Pflanze verhindert wird, und unter dem Einfluß der unverbrauchten Nährstoffe irgendwelche Teile der Pflanze zu abnormem Wachstum (Hyperplasie) angeregt werden, so entstehen „Korrelationshyperplasien“. Gebilde dieser Art zu erzeugen gelingt am einfachsten durch Zerstörung eines oder mehrerer Vegetationspunkte, durch Dekapitation oder durch ähnliche gewaltsame Eingriffe. Während die bisher besprochenen Folgeerscheinungen der Verwundungen die nächste Nachbarschaft der Wundfläche betreffen, können Korrelationshyperplasien selbst in sehr beträchtlicher Entfernung von dieser sich bilden (Schwellung der Blattkissen bei dekapitierten Helianthus- und Kohlrabipflanzen u. ä. m.). Ihr Parenchymreichtum macht diese Korrelationshyperplasien typischen Knollen vergleichbar. Von Korrelationshyperplasieen kann man auch bei den abnorm dicken Schalen tauber Nadelholzsamen sprechen (Neger).

Literatur. ***A. B. Frank,*** *Die Krankheiten der Pflanzen, 2. Aufl., 3 Bde. Breslau 1895.* — ***E. Haselhoff und G. Lindau,*** *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Berlin 1903.* — ***Hollrungs*** *Jahresbericht über die Neuerungen und Leistungen auf dem Gebiete des Pflanzenschutzes, Bd. I, 1898 u. ff.* — ***E. Küster,*** *Pathologische Pflanzenanatomie. Jena 1903.* — ***J. Ritzema-Bos und G. Staes,*** *Tijdschrift over plantenziekten, Bd. I, 1895 u. ff.* — ***J. v. Schröder und C. Reuss,*** *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch usw. Berlin 1883.* — ***P. Sorauer,*** *Handbuch der Pflanzenkrankheiten, 3. Aufl., Berlin 1909 (bisher 2 Bände erschienen).* — ***Sorauers*** *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten, Bd. I, 1891 u. ff.* — ***H. Voechting,*** *Untersuchungen zur experimentellen Anatomie und Pathologie des Pflanzenkörpers. Tübingen 1908.* — ***A. Wieler,*** *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin 1905.*

E. Küster.

Digitized by Google

Pflanzenstoffe unbekannter Konstitution.

1. Pflanzeneiweiße. 2. Enzyme. 3. Alkaloide: a) Chinabasen. b) Opiumbasen. c) Strychnosbasen. d) Colchicaceenbasen: Colchicin, Cevadin, Veratrin. e) Akonitumbasen: Akonin, Pikroakonitin, Akonitin. f) Rutaceenbasen: Pilokarpin, Jaborin, Harmin, Harmalin. g) Papaveraceenbasen: Chelidonin, Sanguinarin, Chelerythrin. h) Calabarbohnenbasen: Eserin. i) Mutterkornbasen: Ergotoxin, Ergotinin. k) Ricinin. l) Yohimbin. 4. Bitterstoffe: Aloine, Santonin, Pikrotoxin. 5. Farbstoffe: a) Chlorophyll. b) Xanthophyll, Caroten. c) Blumenfarbstoffe. d) Brasilein und Hämatein. e) Curcumin. f) Alkannin. g) Orseille, Lackmus. h) Orlean, Bixin. 6. Gallusgerbsäure. 7. Phytosterine. 8. Harze.

1. Pflanzeneiweiße. Die Pflanzeneiweiße werden im Artikel „Eiweißkörper" behandelt.

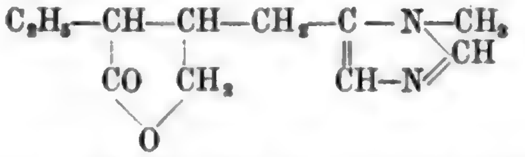
2. Enzyme. Die Enzyme werden im Artikel „Enzyme" behandelt.

3. Alkaloide. Die Alkaloide werden im Artikel „Alkaloide" behandelt, in dem auch die unter a) bis c) aufgeführten Basen eingehend besprochen sind).

3d) Colchicaceenbasen: Colchicin $C_{22}H_{25}NO_6 = (CH_3O)_3 . C_{15}H_9 . (NH . C_2H_3O)(CO_2CH_3)$ findet sich in der Herbstzeitlose. Gelbliche, gummiartige Masse von sehr bitterem Geschmack, linksdrehend, löst sich in Wasser leicht mit gelber Farbe, die durch Zusatz starker Mineralsäuren intensiver wird. Konzentrierte Salpetersäure löst violett. Starkes Starrkrampfgift. — Im Sabadillsamen kommen vor Veratrin $C_{37}H_{53}NO_{11}$, das bei der Hydrolyse Veratrumsäure liefert, und Cevadin $C_{32}H_{49}NO_9 = C_{27}H_{41}NO_6.(OH)(OC_5H_7O)$. Cevadin bildet Kristalle vom Schmp. 205°, liefert bei der Hydrolyse Angelika- und Tiglinsäure. Starkes Gift; wirkt brechenerregend, verursacht auf der Zunge Empfindungslosigkeit; sein Staub reizt zum Nießen.

3e) Akonitumbasen: Die wichtigsten der zahlreichen, meist sehr giftigen Alkaloide, die in Rhizom und Wurzel der Akonitumarten vorkommen, sind 1. Akonin $C_{25}H_{41}NO_9$, bitter schmeckende, zerfließliche, in Aether unlösliche Base vom Schmp. ca. 140°, reduziert Gold- und Silbersalze, 2. Pikroakonitin = Benzoylakonin $C_{32}H_{45}NO_{10}$, kaum giftig. 3. Akonitin = Acetylbenzoylakonin $C_{34}H_{47}NO_{11} = (CH_3O)_4.C_{21}H_{27}NO_5.(C_2H_3O).(C_7H_5O)$, bildet rhombische Kristalle vom Schmp. 197°, leicht löslich in organischen Mitteln, schwer in Wasser; die Lösung schmeckt brennend scharf; dreht nach rechts, die Salze nach links. Bewirkt Lähmung der Nervenendigungen, Herzstillstand.

3f) Rutaceenbasen: In den echten und unechten Jaborandiblättern findet sich Pilokarpin $C_{11}H_{16}NO_2$, wahrscheinlich:



tertiäre, rechtsdrehende Base; schwer kristallisierbares Oel, Schmp. 34°; bewirkt Kontraktion der Pupille; ist isomer mit dem Jaborin, einer sehr starken Base, die im Gegensatz zum Pilokarpin in Wasser äußerst schwer löslich ist und mydriatisch wirkt. Harmin $C_{13}H_{12}N_2O$ glänzend farblose Prismen vom Schmp. 256°, eine einsäurige, sekundäre Base, und Harmalin $C_{13}H_{14}N_2O$ (Dihydroharmin), welch letzteres bitter schmeckende, den Speichel gelb färbende, farblose Kristalle vom Schmp. 228° bildet, finden sich als Phosphate in den Samenschalen von Peganum harmala, einer südrussischen Steppenpflanze. Die Salze des Harmalins sind gelb.

3g) Papaveraceenbasen: Von den in dem gelben bis roten Milchsaft verschiedener Papaveraceen vorkommenden, in freiem Zustande farblosen Alkaloiden seien genannt: 1. Chelidonin $C_{20}H_{19}NO_5.H_2O$ bitter schmeckende Kristalle vom Schmp. 135°, die Triboluminiszenz zeigen, tertiäre, rechtsdrehende Base, ungiftig, Salze farblos; 2. Sanguinarin $C_{20}H_{15}NO_4$, Nadeln vom Schmp. 213°. Salze rot mit violetter Fluoreszenz; 3. Chelerythrin $C_{21}H_{17}NO_4$, Kristalle vom Schmp. 203°. Salze eigelb mit violetter Fluoreszenz. Die beiden letzten Basen reizen die Schleimhäute heftig.

3h) Calabarbohnenbasen: Das im Samen von Physostigma venenosum vorkommende Eserin (Physostigmin) $C_{15}H_{21}N_3O_2$, farb- und geschmacklose rhombische Kristalle vom Schmp. 105°, dreht nach links, verengt die Pupille stark; leicht in organischen Mitteln, schwer in Wasser löslich; seine Lösungen in Säuren färben sich rot.

3i) Mutterkornbasen: Die Wirksamkeit des Mutterkorns, des Sclerotiums von Claviceps purpurea, das besonders in Roggenähren vorkommt, wird wesentlich bedingt 1. durch das p-Oxyphenyläthylamin, das den Blutdruck steigert, 2. durch das Ergotoxin, das gleichfalls Blutdrucksteigerung, sowie Kontraktion des Uterus und eine charakteristische Lähmung des Bauchsympathicus bewirkt. Ergotoxin $C_{35}H_{41}N_5O_6$, weißes Pulver vom Schmp. 160—162°, in Wasser fast unlöslich, leicht löslich in Aether und Alkohol, rechtsdrehend, geht leicht durch Verlust eines Moleküls Wasser über in Ergotinin $C_{35}H_{39}N_5O_5$, das Kristalle vom Schmp. 220° bildet; seine alkoholische Lösung fluoresziert blauviolett.

3k) Ricinin $C_8H_8N_2O_2$, farblose, glänzende Tafeln vom Schmp. 202°, hat vielleicht die Konstitution

Digitized by Google

bildet neben dem Toxalbumin Ricin den giftigen Bestandteil des Rizinussamens.

g) Yohimbin $C_{22}H_{28}N_2O_3$, in der Yohimbeherinde Westafrikas. Weiße Nadeln vom Schmp. 234°. Tertiäre, rechtsdrehende Base; leicht in organischen Mitteln, sehr schwer in Wasser löslich. Aphrodisiakum.

4. **Bitterstoffe.** Aloine finden sich in der Aloë, dem eingedickten Saft der Blätter verschiedener Aloëarten; sie bilden feine gelbliche Nadeln von sehr bitterem Geschmack und stark abführender Wirkung. Das Barbaloin ist ein Pentosid von der Formel $C_{20}H_{18}O_9$, das durch Säure in d-Arabinose und Aloëemodin zerlegt wird: $C_{20}H_{18}O_9 + H_2O = C_{15}H_{10}O_5 + C_5H_{10}O_5$; Aloëemodin ist 1.8-Dioxy-3-methylolanthrachinon. Wie das Barbaloin leiten sich auch die meisten anderen Aloine, wie das Socaloin, Capaloin, Curaçaloin, Jafaloin von einem Methylanthracen ab.

Santonin $C_{15}H_{18}O_3$ bildet den wirksamen Bestandteil des Wurmsamens, der unentfalteten Blütenköpfchen der turkestanischen Artemisia Cina. Es kristallisiert in farb- und geruchlosen, bitter schmeckenden rhombischen Täfelchen vom Schmp. 170°, die durch Sonnenlicht in das isomere Chromosantonin verwandelt werden; in kaltem Wasser ist es fast unlöslich, löst sich aber leicht in Chloroform und heißem Alkohol, dreht stark nach links: $[\alpha]_D = -171°$. Bei der Zinkstaubdestillation liefert es 1.4-Dimethylnaphthalin. Von Alkalien wird es leicht gelöst unter Bildung von Salzen der Santoninsäure, als deren Lakton das Santonin aufzufassen ist; es besitzt wahrscheinlich die Konstitution:

Pikrotoxin findet sich in den Kokkelskörnern, den Früchten von Menispermum cocculus; bildet farblose Nadeln vom Schmp. 200°; geruchlos, neutral reagierend, intensiv bitter, wirkt äußerst giftig, ähnlich wie Strychnin; es löst sich ziemlich leicht in kochendem Wasser und Aetzalkalien; die alkoholische Lösung dreht nach links; reduziert Fehlingsche Lösung. Konzentrierte Schwefelsäure löst mit orangegelber Farbe, die durch eine Spur Dichromat in Violett übergeht. Pikrotoxin ist eine sehr lose Verbindung je eines Moleküls Pikrotoxinin $C_{15}H_{16}O_6$, das in Benzol löslich, und Pikrotin $C_{15}H_{18}O_7$, das in Benzol fast unlöslich ist.

5. **Farbstoffe.** 5a) Chlorophyll. Wichtige Beiträge zur Chemie des Chlorophylls verdankt man Nencki, Schunck, Marchlewski, Tschirch, Küster. Durch die mit dem Jahre 1906 einsetzenden glänzenden Forschungen R. Willstätters und seiner Schüler wurde die Kenntnis der Eigenschaften und der Zusammensetzung des Chlorophylls gewaltig erweitert. Das natürliche Chlorophyll, das die Kohlensäureassimilation der „autotrophen" Pflanzen ermöglicht, stellt ein Gemisch zweier Farbstoffe, des blaugrünen Chlorophylls a und des gelbgrünen Chlorophylls b dar, die einander sehr ähnliche Derivate desselben Kerns sind und sich nur im Gehalt an Sauerstoff unterscheiden; ihre Trennung gelingt auf Grund ihrer verschiedenen Löslichkeit in wässerigem Methylalkohol. Reines Chlorophyll bildet ein blauschwarzes, glänzendes Pulver, das in Alkohol und Aether grün mit roter Fluoreszenz löslich, in Petroläther unlöslich ist. Die grüne Farbe einer Chlorophyllösung schlägt durch Alkali in Braun um, kehrt aber nach einiger Zeit wieder. Fig. 1 zeigt das Absorptionsspektrum einer alkoholischen Chlorophyllösung:

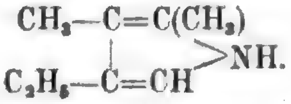
Streifen I zeigen noch die verdünntesten Lösungen. Chlorophyll a besitzt die empirische Formel $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$, die sich auflösen läßt in $(C_{32}H_{30}N_4Mg)(CO_2H)(CO_2CH_3)(CO_2 \cdot C_{20}H_{39})$; das Magnesium ist komplex an die vier Stickstoffatome des Moleküls mit Haupt- und Nebenvalenzen gebunden. Chlorophyll ist ein Ester des Phytols; die Chlorophyllase (siehe im Artikel „Enzyme der Pflanze" VI. 3) spaltet das Chlorophyll in alkoholischer Lösung in Phytol und Chlorophyllid, umgekehrt kann sie diese beiden Komponenten wieder zu Chlorophyll synthetisieren. Das Chlorophyllid, das in blauschwarzen, metallisch glänzenden Blättchen kristallisiert — „kristallisiertes Chlorophyll" —, ist ein Chlorophyll, das an Stelle des Phytolrestes den Rest des Aethylalkohols enthält. Das Phytol $C_{20}H_{39} \cdot OH$ ist ein einwertiger Alkohol, sehr wahrscheinlich von folgender Konstitution:

Digitized by Google

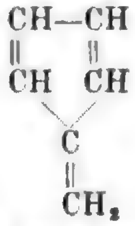
$$CH_3-(CH.CH_3)_5-C.CH_2 = C.CH_3-(C.CH_3)_2-CH_2OH.$$

Beim hydrolytischen Abbau des Chlorophylls durch Säuren wird Magnesium abgespalten, und es entstehen die sogenannten Phytine. Dagegen ist das komplex gebundene Magnesium im Molekül der Phylline, die beim Abbau des Chorophylls durch Alkalien gebildet werden, noch enthalten. Das tiefrote Rhodophyllin $C_{33}H_{34}O_4N_4Mg = C_{31}H_{32}N_4Mg(CO_2H)_2$, steht in naher Beziehung zum Bluthämin, welch letzteres die Zusammensetzung $C_{33}H_{34}O_4N_4(FeCl)$ haben dürfte.

Chlorophyll und Hämin enthalten beide als gemeinsamen Komplex das sogenannte Hämopyrrol $C_8H_{13}N$, ein Gemisch sehr ähnlicher Verbindungen, wesentlich $\alpha\beta$-Dimethyl-β'-äthylpyrrol



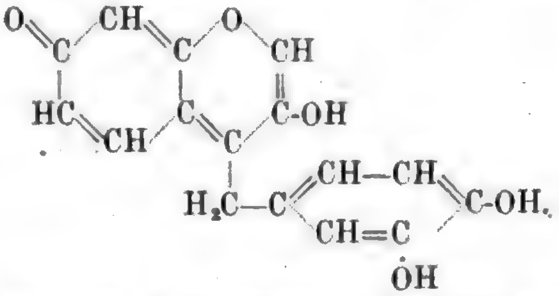
5b) Xanthophyll und Caroten sind ständige Begleiter des Chlorophylls. Xanthophyll $C_{40}H_{56}O_2$ und das zuerst aus Möhren isolierte Caroten $C_{40}H_{56}$ sind gelbe Farbstoffe, die zueinander in naher Beziehung stehen und Derivate des Fulvens:



zu sein scheinen. Beide absorbieren begierig Luftsauerstoff, es liegt daher nahe, ihnen eine biologische Rolle bei der Sauerstoffatmung der Pflanzen zuzuschreiben. Isomer aber nicht identisch mit dem Caroten ist der Farbstoff der Tomate, das Lycopin.

5c) Blumenfarbstoffe. Den Blumen können sie durch Alkohol oder Wasser entzogen werden. Die roten bis blauen stickstofffreien Blumenfarbstoffe, die Anthocyane, scheinen den Charakter schwacher Säuren zu haben. Ihr Absorptionsspektrum ist ungefähr komplementär zu dem des Chlorophylls.

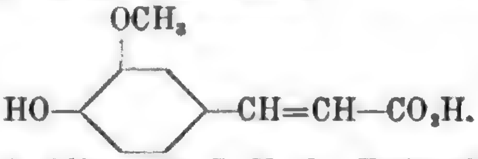
5d) Brasilein und Hämatein, die Farbstoffe des Rotholzes (Holz von Caesalpinia-Arten) bezw. des Blauholzes (Kernholz von Haematoxylon Campechianum) gehören zur Chromongruppe. Im Holz sind ursprünglich als Glukoside die diesen Farbstoffen entsprechenden Leukoverbindungen enthalten: Brasilin $C_{16}H_{10}O(OH)_4$ und Hämatoxylin $C_{16}H_9O(OH)_5$, farblose, kristallisierende Substanzen, die leicht durch Verlust zweier Wasserstoffatome in obige Farbstoffe übergehen. Brasilein $C_{16}H_{12}O_5$, rötlichbraune rhombische Täfelchen mit grauem Metallglanz, in Wasser wenig mit rosenroter, in Alkalien mit intensiv karminroter Farbe löslich; besitzt wahrscheinlich die Konstitution:



Hämatein = Oxybrasilein $C_{16}H_{12}O_6$, rötlich braune Täfelchen mit grünem Metallglanz, in verdünnten Alkalilaugen hellrot, in konzentrierten bläulichpurpurn löslich.

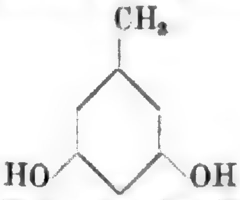
Während Rotholz jetzt keine große Verwendung mehr findet, werden enorme Mengen Blauholz zum Färben von Schwarz auf Seide, Wolle und auch Baumwolle, sowie für Blau auf Wolle verbraucht.

5e) Curcumin $C_{21}H_{20}O_6 = C_{19}H_{14}O_4-(OCH_3)_2$, ist das färbende Prinzip der Curcumawurzel; färbt Baumwolle ohne Beizen gelb. Leuchtend rote Nadeln vom Schmp. 183°, die in Wasser unlöslich, in Alkalien und Ammoniak rotbraun löslich sind. Curcumin dürfte in die Gruppe der Oxychalkone einzureihen sein; es liefert bei der Spaltung durch Alkalien Ferulasäure:



5f) Alkannin $C_{15}H_{14}O_4$, Farbstoff der Alkannawurzel; findet geringe Anwendung in der Baumwoll- und Seidenfärberei für Violett und Grau, auch zum Färben von Fetten und Pomaden. Dunkelrote, kantharidenglänzende Krusten, die sich am besten in Chloroform lösen; das Absorptionsspektrum der schön blauen alkalischen Lösung ist dem einer alkalischen Alizarinlösung sehr ähnlich. Das Alkannin scheint ein Dihydrodioxymethylanthrachinon zu sein.

5g) Orseille oder Persio und Lackmus sind Farbstoffe, die aus den Flechten der Familien Roccella und Lecanora durch einen eigentümlichen Gärungsprozeß hervorgehen. Ihre Grundsubstanz ist das Orcin:

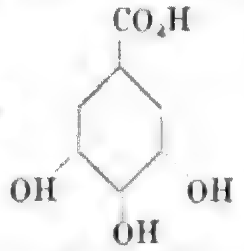


Orcein $C_{28}H_{24}N_2O_7$, das den Hauptbestandteil der Orseille bildet, entsteht aus Orcin bei Gegenwart von Ammoniak an feuchter

Luft; stellt ein braunes Pulver dar, ist unlöslich in Wasser, in Alkohol karmin, in Alkalien blauviolett löslich. Orseille, die nur noch beschränkte Verwendung findet, färbt Seide und Wolle bläulichrot. Lackmus entsteht durch weitere Oxydation des Orceins; ist in freiem Zustande rot, seine Salze sind blau; Indikator. Lackmus enthält mehrere Farbstoffe, vorwiegend Azolithmin $C_7H_7NO_4$.

5b) Orlean wird aus dem roten, die Samen von Bixa orellana umgebenden Fruchtfleisch gewonnen. Der Orlean des Handels ist ein rotbraunes Pulver; sein wichtigster Bestandteil ist das Bixin $C_{26}H_{30}O_3.(OH).(OCH_3)$, das dunkelrote metallglänzende Blättchen vom Schmp. 189° bildet. Bixin ist eine schwache Säure, liefert bei der Zinkstaubdestillation m-Xylol, Aethyltoluol und ein Oel $C_{14}H_{14}$. — Die lachsroten Orleanfärbungen sind lichtunecht.

6. Gallusgerbsäure. Die den Hauptbestandteil der Galläpfel bildende Gallusgerbsäure ist kein einheitlicher Stoff; sie scheint aus Anhydriden der Gallussäure:

$C_6H_2(OH)_3(CO_2H) =$ 

und wechselnden Mengen von deren Glukoseverbindungen zu bestehen. Der wechselnde Gehalt an Glukose dürfte die Ursache sein, daß Gallusgerbsäure mehr oder weniger stark rechts dreht. Nach Nierenstein besteht die Gallusgerbsäure dagegen aus einem Gemisch von Tannin, d. i. Digallussäure, und Leukotannin, d. i. Dihydrodigallussäure. Gallusgerbsäure liefert bei der Zinkstaubdestillation Diphenylmethan.

Die Gallusgerbsäure stellt eine amorphe, nahezu farblose Masse von stark adstringierendem Geschmack dar, die in Wasser sehr leicht löslich ist; die wässerige Lösung gibt mit Ferrisalzen einen blauschwarzen Niederschlag, fällt die Lösungen der meisten Alkaloide und Bitterstoffe, sowie von Leim, Stärkemehl und Eiweiß. Gallusgerbsäure findet Anwendung in der Färberei, Tintenfabrikation (vgl. den Artikel „Tinte"), zum Klären des Bieres, in der Medizin als Adstringens.

7. Phytosterine. Die Phytosterine sind hochmolekulare und sauerstoffarme, meist einwertige und ungesättigte, zur Terpengruppe gehörige Pflanzenalkohole, die die Farbenreaktionen des Cholesterins (siehe dieses unter „Tierstoffe unbekannter Konstitution") geben; in der Regel sind sie optisch aktiv; sie kristallisieren entweder mit einem Molekül Wasser in fettig glänzenden Blättchen oder wasserfrei in Nadeln; in ihren Löslichkeitsverhältnissen gleichen sie den Kohlenwasserstoffen. Phytosterine kommen in kleinen Mengen in fast allen Pflanzenteilen vor. Die folgende kurze Uebersicht ist gegeben, um die Verbreitung der Phytosterine an typischen Beispielen zu zeigen: Phytosterin $C_{27}H_{44}O$ vom Schmp. 138° im Gras; Vitin $C_{20}H_{37}O_2$ in Vitis canadensis, auch im Fruchtwachs von Aepfeln und Birnen; Cholestol $C_{20}H_{48}O_2$, Schmp. 139°, in der Chinarinde, ist vielleicht ein Oxychinoterpen; Betasterin $C_{26}H_{44}O$, Schmp. 145°, in der Zuckerrübe, Arnisterin $C_{28}H_{46}O.H_2O$, Schmp. 250°, in den Blüten von Arnica montana, Amyrin $C_{30}H_{50}O$, der kristallisierende Bestandteil des Elemiharzes, Sitosterin $C_{27}H_{46}O$, Schmp. 136°, in Weizenkeimlingen, Mais und Kakaobohnen, Ergosterin $C_{24}H_{40}O.H_2O$ im Mutterkorn, Schmp. 154°.

8. Harze. Die Harze werden in den Artikeln „Harze" und „Kautschuk" gesondert behandelt.

Literatur. **F. Beilstein**, *Handbuch der organischen Chemie. Hamburg und Leipzig 1893 bis 1906.* — **E. Schmidt**, *Ausführliches Lehrbuch der pharmazeutischen Chemie Bd. II, 2. Braunschweig 1911.* — **H. Euler**, *Grundlagen und Ergebnisse der Pflanzenchemie. Braunschweig 1908.* — **O. A. Oesterle**, *Grundriß der Pharmakochemie. Berlin 1909.* — **H. Rupe**, *Chemie der natürlichen Farbstoffe. Braunschweig 1900 und 1909.* — **G. v. Georgievics**, *Lehrbuch der Farbenchemie. Leipzig und Wien 1902.* — **R. Meyer**, *Jahrbuch der Chemie Bd. 18 bis 20. Braunschweig 1909 bis 1911.* — **R. Willstätter**, *Untersuchungen über Chlorophyll, Liebigs Annalen Bd. 350 ff.* — **E. Strasburger**, *Lehrbuch der Botanik. Jena 1910.*

H. Liebermann.

Pflüger

Eduard Friedrich Wilhelm.

1829 bis 1910, der langjährige Bonner Ordinarius der Physiologie (seit 1859). Er wurde in Hanau geboren, anfangs Jurist, studierte hauptsächlich unter Johannes Müller und Du Bois Reymond, promovierte in Berlin 1855 und habilitierte sich daselbst 1858, eröffnete 1878 das neu erbaute Physiologische Institut in Bonn und konnte 1909 noch sein fünfzigjähriges Jubiläum seiner Wirksamkeit als Ordinarius feiern. Von seinen hauptsächlichsten Arbeiten sind zu nennen die Entdeckung des nach ihm benannten Zuckungsgesetzes (1858), die Physiologie des Elektrotonus (1859), Untersuchungen über den Stoffwechsel, über die Kohlensäure des Blutes, über die physiologische Verbrennung in den lebenden Organismen (1875), Versuche zur chemischen Wärmeregulierung, über die Quelle der Muskelkraft, die Grund-

Digitized by Google

gesetze der Ernährung usw. Die Zahl seiner Veröffentlichung übersteigt 200 Nummern; die meisten sind in seinem 1868 begründeten berühmten Archiv für Physiologie erschienen. Auch über hygienische Gegenstände arbeitete Pflüger gelegentlich, so über den Einfluß des Alkoholgenusses auf die Lebensdauer, die Bedeutung der Disposition für die Infektionskrankheiten, über Makrobiotik, Vermeidung der geistigen Ueberanstrengung in Unterricht u. a. m.

Literatur. *Waldeyer-Posner. Jahresberichte. Nekrolog 1910.*

J. Pagel.

Pharmazeutische Präparate.

1. Anorganisch-chemische Präparate: a) Wasser und Wasserstoffsuperoxyd. b) Halogene und Halogenpräparate. c) Schwefel und seine Präparate. d) Ammoniak und Salpetersäure. e) Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut. f) Kohlenstoff, Bor. g) Alkali- und Ammoniumverbindungen. h) Alkalische Erden. i) Magnesium, Zink und Quecksilber. k) Eisen, Aluminium, Chrom. l) Blei, Kupfer, Silber, Gold. 2. Organisch-chemische Präparate: a) Aliphatische Verbindungen. b) Carbocyclische Verbindungen. c) Terpen- und Kampferderivate. d) Heterocyclische Verbindungen. e) Alkaloide und verwandte Verbindungen. f) Bitterstoffe, Eiweißstoffe. 3. Galenische Präparate.

Unter dem Namen „pharmazeutische Präparate“ faßt man alle diejenigen Produkte zusammen, die in der Apotheke zur Bereitung von Arzneimitteln und Arzneien Anwendung finden. Es fallen demnach recht verschiedene Substanzen unter den Begriff. Teils handelt es sich um mehr oder minder einheitliche chemische Individuen aus dem Gebiete der anorganischen oder organischen Chemie, teils um Auszüge oder Gemische oder irgendwelche anderen Zubereitungen von Drogen und Drogenpulvern. Die letzteren pflegt man als „galenische Präparate“ (nach Galenus, einem der größten Aerzte des Altertums) den chemischen Präparaten gegenüberzustellen.

Demgemäß ist in der folgenden Uebersicht über die wichtigsten pharmazeutischen Präparate eine Einteilung in 1. Anorganisch-chemische Präparate; 2. Organisch-chemische Präparate; 3. Galenische Präparate getroffen worden. Innerhab der ersten beiden Gruppen ist nach dem chemischen System geordnet worden, in der dritten Gruppe erfolgte die Anordnung nach dem Alphabet.

1. Anorganisch-chemische Präparate. 1a) Wasser und Wasserstoffsuperoxyd. — Aqua destillata, Destilliertes Wasser. Das zur pharmazeutischen Verwendung gelangende destillierte Wasser muß völlig neutral, farblos und geruchlos sein. Der Geschmack ist fade. Es soll frei sein von Salzsäure, Schwefelsäure, Calciumsalzen, Ammoniak, Ammoniumsalzen und Schwermetallen. Der Gehalt an Kohlensäure und organischer Substanz soll eine gewisse Grenze nicht überschreiten.

Hydrogenium peroxydatum solutum, Wasserstoffsuperoxydlösung. Offizinell ist eine wässerige Lösung mit einem Gehalte von mindestens 3% Wasserstoffsuperoxyd (H_2O_2). Das Präparat bildet eine klare, farb- und geruchlose, schwach bitter schmeckende Flüssigkeit, die Lackmuspapier schwach rötet.

Die Wasserstoffsuperoxydlösung unterliegt schon bei gewöhnlicher Temperatur einer langsamen Zersetzung in Wasser und Sauerstoff. Der Prozeß wird verlangsamt durch Gegenwart einer kleinen Menge Säure. Deshalb enthält das Präparat stets eine gewisse Menge freie Säure (Salzsäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure), die aber für 50 ccm nicht größer sein soll, als 2,5 ccm $^1/_{10}$ Normal-Kalilauge entspricht.

Da die Wasserstoffsuperoxydlösung gewöhnlich aus Baryumperoxydhydrat hergestellt wird, so können leicht Baryumverbindungen in das Präparat gelangen; ein Gehalt an Baryumverbindungen ist natürlich unzulässig.

Das Wasserstoffsuperoxyd wirkt stark oxydierend und demzufolge bleichend; das lebende Haar erhält dadurch z. B. eine aschblonde Farbe. Seine medizinische Anwendung beruht teils auf seinen oxydierenden Eigenschaften, die ihm starke antiseptische und desodorierende Wirkung verleihen, teils aber auch auf der Fähigkeit des Wasserstoffsuperoxyds, mit bloßliegenden Geweben unter Sauerstoffentwickelung katalytisch zu zerfallen, wobei die lebhafte Gasentwickelung — äußerlich durch starkes Schäumen kenntlich — eine vorzügliche mechanische Reinigung des betreffenden Gewebes bewirkt.

Perhydrol. Unter diesem Namen bringt die Firma E. Merck eine 30% H_2O_2 enthaltende, säurefreie Wasserstoffsuperoxydlösung in den Handel. Die Flaschen sind auf der Innenseite mit einer Paraffinschicht überzogen, damit die Flüssigkeit nicht mit der alkalischen und daher die Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds befördernden Glaswand in Berührung kommt.

Pergenol bildet gewissermaßen ein festes Wasserstoffsuperoxyd. Es besteht aus einer trockenen Mischung von Natriumperborat und Kaliumbitartrat. Beim Auflösen in Wasser bildet sich durch chemische Umsetzung Wasserstoffsuperoxyd.

1b) Halogene und Halogenpräparate. — Aqua chlorata, Chlorwasser ist eine wässerige Lösung mit einem Gehalt von 0,4 bis 0,5% wirksamem Chlor, die man durch Einleiten von gasförmigem Chlor in Wasser

erhält. Das Präparat bildet eine klare, gelbgrüne, in der Wärme flüchtige, erstickend riechende Flüssigkeit, die blaues Lackmuspapier nicht rötet, sondern bleicht. Wegen der leichten Zersetzlichkeit ist Chlorwasser vor Licht geschützt in gut verschlossenen, vollständig gefüllten Flaschen aufzubewahren.

Calcaria chlorata, Chlorkalk, ist das Einwirkungsprodukt von Chlor auf gelöschten Kalk und gewissermaßen Chlor in fester Form. Der wirksame Bestandteil ist das Calciumhypochlorit $Ca(OCl)_2$, die anderen Bestandteile, Calciumchlorid und Calciumhydroxyd, sind für die Wirkung nur von sekundärer Bedeutung.

Der offizinelle Chlorkalk soll mindestens 25% wirksames Chlor enthalten, d. h. mit Säuren mindestens 25% freies Chlor entwickeln. Er bildet ein weißes oder weißliches Pulver von eigenartigem Geruche. Er ist in Wasser nur teilweise löslich, die Lösung bläut zunächst Lackmuspapier und bleicht es dann.

Der Chlorkalk findet hauptsächlich Anwendung als Desinfektionsmittel. Wässerige Lösungen für arzneiliche Anwendung sind jedesmal frisch zu bereiten und zu filtrieren. Durch die Filtration wird hauptsächlich das unlösliche und ätzend wirkende Calciumhydroxyd entfernt.

Bromum, Brom. Das zur pharmazeutischen Verwendung gelangende Brom soll mit Natronlauge eine dauernd klar bleibende Flüssigkeit liefern. Diese Forderung richtet sich gegen einen Gehalt an organischen Bromverbindungen. Ferner soll das Brom frei von Jod sein.

Jodum, Jod. Von den Handelssorten ist nur das „Jodum resublimatum" für den pharmazeutischen Gebrauch zulässig. Verlangt wird ein Jodgehalt von mindestens 99%, vollständige Flüchtigkeit, Abwesenheit von Cyanjod und Chlorjod.

Tinctura Jodi, Jodtinktur, ist eine Lösung von einem Teile Jod in neun Teilen offizinellem Weingeist. Das Jod wird in einem Gazebeutelchen in den Weingeist eingehängt und ohne Anwendung von Wärme gelöst. Jodtinktur bildet eine dunkelrotbraune, beim Erwärmen ohne Rückstand flüchtige Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht 0,902 bis 0,906. Durch Einwirkung des Jods auf den Alkohol geht der Gehalt der Tinktur an freiem Jod bald nicht unbeträchtlich zurück. Die Tinktur enthält dann erhebliche Mengen Jodwasserstoff, ferner Jodoform, Aldehyd und Aethyljodid.

Jod und Jodtinktur finden innerlich nur beschränkte Anwendung. Aeußerlich bei Geschwülsten und zur Hautdesinfektion vor Operationen.

Acidum hydrochloricum, Salzsäure, Acidum muriaticum. Das offizinelle Präparat enthält 24,8 bis 25,2% Chlorwasserstoff, entsprechend einem spezifischen Gewicht von 1,126 bis 1,127 bei 15°. Verlangt wird eine farblose, völlig flüchtige Säure, die frei ist von Arsen, Schwermetallen, Schwefelsäure, schwefliger Säure, freiem Chlor und Eisensalzen.

Acidum hydrochloricum dilutum, verdünnte Salzsäure, wird durch Verdünnen der offizinellen Salzsäure mit der gleichen Gewichtsmenge Wasser bereitet und enthält demzufolge nur 12,5% Chlorwasserstoff.

Die Salzsäure wird äußerlich fast gar nicht mehr, innerlich vielfach bei Magenstörungen verordnet.

Acidum hydrochloricum crudum, rohe Salzsäure. Zur pharmazeutischen Verwendung sollte nur eine arsenfreie Säure Verwendung finden.

Acidum hydrochloricum fumans, rauchende Salzsäure, ist eine Säure von 1,19 spezischem Gewicht und 38,5% Chlorwasserstoffgehalt.

Acidol ist gewissermaßen eine Salzsäure in fester Form. Das Präparat ist chemisch salzsaures Betain, das beim Auflösen in Wasser hydrolytisch die Salzsäure abdissoziiert. Es bildet weiße, in Wasser leicht lösliche Kristalle. 0,5 g sollen etwa 5 Tropfen offizineller Salzsäure entsprechen.

Acidum hydrobromicum, Bromwasserstoffsäure. Das zur pharmazeutischen Verwendung gelangende Präparat ist eine reine Säure von 25% Gehalt an HBr.

Kalium bromatum, Kaliumbromid, ist das nahezu reine Salz mit einem Gehalt von mindestens 98,7% KBr. Es muß neutral reagieren und frei sein von Natriumsalzen, Bromsäure, Jodiden, Schwefelsäure, Baryumsalzen, Schwermetallen, insbesondere Eisen. Ein Gehalt bis 1,3% Chlorkalium ist zulässig.

Natrium bromatum, Natriumbromid, soll mindestens 94,3% NaBr, entsprechend 73,2% Brom enthalten. Ein Gehalt bis 5% Wasser und bis 0,7% Chlornatrium ist zulässig. Das Salz soll neutral reagieren und frei sein von Kalium- und Magnesiumverbindungen, ferner von Bromsäure, Jodiden, Schwefelsäure, Baryumsalzen und Schwermetallen, insbesondere Eisen.

Ammonium bromatum, Ammoniumbromid, soll mindestens 97,9% NH_4Br enthalten, entsprechend 79,9% Brom. Das Salz reagiert gegen Lackmus schwach sauer und soll völlig flüchtig sein. Ein Gehalt bis 1% Feuchtigkeit und bis 1,2% Chlorammonium ist zulässig. Im übrigen sind an die Reinheit dieselben Anforderungen zu stellen, wie bei Kaliumbromid.

Die drei vorstehend beschriebenen Bromide finden als Antineuralgica und Beruhigungsmittel eine ausgedehnte Anwendung. Neuerdings werden ihnen aber vielfach Brom-

Digitized by Google

präparate, die das Brom nicht in ionisierbarer Form, sondern organisch gebunden enthalten, vorgezogen, da die Nebenwirkungen bei diesen geringer sein sollen. Vgl. Sabromin, Bromural, Neuronal, Adalin.

Kalium jodatum, Kaliumjodid. Offizinell ist das reine Salz. Das Präparat soll insbesondere frei sein von Natriumsalzen, Alkalicarbonaten, Schwermetallsalzen, Cyaniden, Jodsäure, Eisensalzen, Salpetersäure und Thiosulfaten. Salzsäure und Bromwasserstoffsäure dürfen allenfalls in Spuren vorhanden sein.

Natrium jodatum, Natriumjodid. Das offizinelle Salz muß mindestens 95% NaJ enthalten. 5% Wasser sind mit Rücksicht auf die hygroskopischen Eigenschaften des Salzes zulässig. Im übrigen sind die Anforderungen an die Reinheit dieselben wie bei Kaliumbromid.

Ammonium jodatum, Ammoniumjodid findet wegen seiner geringen Haltbarkeit nur selten arzneiliche Anwendung. Es ist der wirksame Bestandteil des äußerlich vielgebrauchten Jodvasogens.

Kaliumjodid, weniger Natriumjodid, findet ausgedehnte medizinische Anwendung sowohl zu innerlichem, wie äußerlichem Gebrauche. In den letzten Jahren ist es vielfach durch Präparate verdrängt worden, die das Jod in organischer Bindung enthalten und die besser vertragen werden sollen (Sajodin, Jodipin).

1c) Schwefel und seine Präparate.

Sulfur sublimatum, sublimierter Schwefel, Schwefelblüte, ist ein durch schnelles Abkühlen von Schwefeldampf gewonnenes feines Pulver, das sich in Schwefelkohlenstoff nur teilweise auflöst. Es soll beim Verbrennen nicht über 1% Rückstand hinterlassen.

Sulfur depuratum, gereinigter Schwefel, Sulfur lotum, wird aus sublimiertem Schwefel durch Stehenlassen mit verdünntem Ammoniak und Trocknen bei höchstens 30° bereitet. Durch die Extraktion mit Ammoniak werden Schwefelsäure und Arsen entfernt. Demgemäß soll das Präparat angefeuchtetes Lackmuspapier nicht röten und frei sein von Arsen. 1% Aschegehalt ist zulässig.

Sulfur praecipitatum, gefällter Schwefel, Schwefelmilch, bildet ein feines, gelblichweißes, in Schwefelkohlenstoff leicht lösliches, nicht kristallinisches Pulver, das durch Zersetzung einer Calciumpentasulfidlösung mit Salzsäure dargestellt wird. Das Präparat soll neutral und frei von Arsen, Salzsäure und Sulfiden sein. Beim Verbrennen darf höchstens 0,5% hinterbleiben.

Der Schwefel wird in seinen verschiedenen Formen innerlich als leichtes Abführmittel angewandt. Die Wirkung beruht darauf, daß sich im Darm Schwefelwasserstoff bildet, der die Darmwand reizt. Aeußerlich wird er in Salbenform gegen viele Krankheiten der Haut angewendet, auch als Kosmetikum gegen unreinen Teint.

Sulfur griseum, grauer oder Roßschwefel, ist ein graues, erdiges Pulver, das aus den Rückständen von der Destillation des Schwefels gewonnen wird.

Kalium sulfuratum, Schwefelleber, bildet leberbraune, bei der Aufbewahrung gelbgrün werdende Stücke, die schwach nach Schwefelwasserstoff riechen und sich in Wasser mit alkalischer Reaktion lösen. Chemisch ist es ein durch Zusammenschmelzen von Schwefel mit der doppelten Menge Pottasche gewonnenes unreines Kaliumtrisulfid. Das Präparat enthält daneben Kaliumthiosulfat, Kaliumpentasulfid und Kaliumsulfat. Es wird äußerlich zu Schwefelbädern verwendet.

Acidum sulfuricum, Schwefelsäure, ist eine konzentrierte Säure von 94 bis 98% H_2SO_4 und dem spezifischen Gewicht 1,836 bis 1,841. Sie soll frei sein von Arsen, Bleisalzen, schwefliger und salpetriger Säure, Salzsäure, Salpetersäure, Selenverbindungen. — Die Anwendung der konzentrierten Säure ist sehr gering. Vorsichtig aufzubewahren.

Acidum sulfuricum dilutum, verdünnte Schwefelsäure, wird durch Verdünnen der konzentrierten Säure mit der fünffachen Gewichtsmenge Wasser erhalten (Säure ins Wasser gießen!). Gehalt demgemäß 15,6 bis 16,3% H_2SO_4. In Frankreich, der Schweiz, Ungarn, Nordamerika ist eine 10 prozentige, in England eine 13,1 prozentige, in Oesterreich eine 16,6 prozentige Säure gebräuchlich.

Acidum sulfuricum crudum. Rohe Schwefelsäure soll mindestens 91% H_2SO_4 enthalten und nahezu frei von Arsen sein.

1d) Ammoniak und Salpetersäure.

Liquor Ammonii caustici, Ammoniakflüssigkeit, enthält 9,94 bis 10% NH_3. Als Verunreinigungen kommen in Betracht Kohlensäure bezw. Carbaminsäure, Schwermetalle, Calciumsalze. Das Präparat soll frei sein von Teerbestandteilen, daher beim Eindampfen mit Salpetersäure eine weiße Salzmasse liefern.

Liquor Ammonii caustici spirituosus, Spiritus Dzondii, ist eine 10 prozentige Lösung von Ammoniak in Weingeist.

Acidum nitricum, Salpetersäure, enthält 24,8 bis 25,2% HNO_3. Die offizinelle Säure muß frei sein von Schwefelsäure, Salzsäure, Jodsäure und Schwermetallsalzen, insbesondere Eisen.

Acidum nitricum crudum soll nahezu farblos und völlig flüchtig sein. Gehalt 61 bis 65% HNO_3.

Acidum nitricum fumans, rauchende Salpetersäure, ist die rote Säure des Handels

Digitized by Google

vom spezifischen Gewicht mindestens 1,486 und einem Gehalt von mindestens 86% Salpetersäure.

Die Salpetersäure findet fast nur als Aetzmittel medizinische Verwendung.

1e) Phosphor, Arsen, Antimon, Wismut. — Phosphorus, Phosphor. Offizinell ist der gelbe Stangenphosphor. Wegen seiner Giftigkeit ist er sehr vorsichtig, vor Licht geschützt und unter Wasser aufzubewahren. Er wird medizinisch, meist in Oel gelöst, gegen Rachitis gegeben. Die größte Einzelgabe ist auf 1 mg, die größte Tagesgabe auf 3 mg festgesetzt.

Acidum phosphoricum, Phosphorsäure, ist eine durch Oxydation von Phosphor gewonnene annähernd 25prozentige Orthophosphorsäure. Sie muß frei sein von Arsenverbindungen, von Salzsäure, phosphoriger Säure, Schwefel- und Salpetersäure, sowie von Schwermetall-, Calcium- und Magnesiumsalzen. Das Anwendungsgebiet der Phosphorsäure in der Medizin ist heute nur ein kleines.

Acidum arsenicosum, arsenige Säure. Zu pharmazeutischem Gebrauche ist sowohl die glasartige, amorphe als auch die kristallinische Modifikation zulässig. Zu verlangen ist völlige Flüchtigkeit, Abwesenheit von Arsensulfid und ein Gehalt von mindestens 99% As_4O_6. Das Präparat ist unter den direkten Giften aufzubewahren. Die größte Einzelgabe ist auf 5 mg, die größte Tagesgabe auf 15 mg festgesetzt. Die arsenige Säure findet eine ziemlich ausgedehnte Anwendung, häufig in Form des

Liquor Kalii arsenicosi, der Fowlerschen Lösung. Das Präparat wird in Deutschland in der Weise bereitet, daß 1 Teil arsenige Säure mit 1 Teil Kaliumbicarbonat durch Kochen mit Wasser in Lösung gebracht wird; der Lösung werden 3 Teile Lavendelspiritus und 12 Teile Weingeist zugefügt und darauf wird auf 100 Teile verdünnt. Die Lösung enthält mithin 1% arsenige Säure und zwar in Form von Kaliummetarsenit. Sie ist unter den direkten Giften aufzubewahren.

Acidum arsenicicum, Arsensäure, wird nur selten arzneilich verwendet. Sie gilt als wesentlich weniger giftig als die arsenige Säure.

Liquor Stibii chlorati, Spießglanzbutter, ist eine als energisches Aetzmittel dienende Lösung von Antimontrichlorid in Salzsäure. Gehalt etwa 33% $SbCl_3$.

Stibium sulfuratum nigrum, Spießglanz, ist durch Saigerung aus dem Grauspießglanzerz gewonnenes Antimontrisulfid. Es soll nicht mehr als 1% in Salzsäure Unlösliches, d. h. Schwefelarsen, enthalten. Es bildet ein grauschwarzes kristallinisches Pulver und findet eine ausgedehnte Anwendung in der Tierheilkunde. Unter dem Namen Stibium sulfuratum nigrum laevigatum findet ein durch Schlämmen gereinigtes und durch Behandeln mit verdünntem Ammoniak von Schwefelarsen möglichst befreites Präparat eine sehr beschränkte arzneiliche Verwendung.

Stibium sulfuratum aurantiacum, Goldschwefel, ist Antimonpentasulfid, ein feines orangerotes Pulver, wie es durch Zerlegung von Natriumsulfantimoniat mit Säuren erhalten wird. Es soll frei sein von Arsenverbindungen, von Salz- und Schwefelsäure. Das Präparat ist unter Lichtschutz aufzubewahren. Es findet als Expektorans Anwendung.

Bismutum nitricum, Wismutnitrat, ist das arsenfreie Salz $Bi(NO_3)_3 + 5\,H_2O$. Es dient lediglich zur Darstellung anderer Wismutpräparate, insbesondere von

Bismutum subnitricum, basischem Wismutnitrat, „Magisterium Bismuti“. Dieses ist ein unter Innehaltung bestimmter Bedingungen aus dem neutralen Wismutnitrat durch Zersetzung mit kochendem Wasser gewonnenes basisches Salz mit einem Gehalt von 79 bis 82% Wismutoxyd. Es bildet ein weißes, mikrokristallinisches Pulver, das angefeuchtetes Lackmuspapier rötet. Im Wasser ist es unlöslich. Es soll frei sein von Blei-, Kalk-, Kupfer- und Ammoniumsalzen, von Schwefelsäure, Salzsäure und Arsenverbindungen. Das Präparat wird innerlich bei Magen- und Darmaffektionen gegeben. Aeußerlich dient es als Streupulver bei Brandwunden.

1f) Kohlenstoff, Bor. — Carbo Ligni pulveratus, gepulverte Holzkohle, ist ausgeglühte, nach dem Erkalten sofort gepulverte Holzkohle. Sie darf an Weingeist nichts abgeben und höchstens 5% Asche hinterlassen.

Acidum boricum, Borsäure. Offizinell ist die chemisch reine Borsäure H_3BO_3. Zu fordern ist Abwesenheit von Schwermetallen, insbesondere Eisen, ferner von Calcium- und Magnesiumsalzen, sowie von Schwefelsäure und Salzsäure. Die Borsäure findet kaum innerliche, wohl aber ausgedehnte äußerliche Anwendung als Desinfiziens.

1g) Alkali- und Ammoniumverbindungen. — Kalium causticum fusum, Kaliumhydroxyd. Das Präparat soll mindestens 85% KOH enthalten, frei sein von Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure und salpetriger Säure. Bis 4,8% Carbonat sind zulässig.

Liquor kalii caustici ist eine annähernd 15 prozentige Kalilauge.

Kalium carbonicum, Kaliumcarbonat. Das Salz soll annähernd 95% K_2CO_3 enthalten. Zu prüfen ist auf Natriumsalze, Schwermetalle, insbesondere Eisen, Salzsäure, Schwefelsäure und Ameisensäure. Die-

Digitized by Google

sen Anforderungen wird im allgemeinen nur ein durch Glühen von Kaliumbicarbonat dargestelltes Präparat genügen.

Liquor kalii carbonici ist eine wässerige Lösung mit einem Gehalt von 33,3% K_2CO_3.

Kalium carbonicum crudum, Pottasche. Verlangt wird ein Gehalt von 90% K_2CO_3 und fast völlige Löslichkeit in der gleichen Menge Wasser.

Kalium bicarbonicum, Kaliumbicarbonat. Offizinell ist das reine Salz $KHCO_3$.

Kalium nitricum, Kaliumnitrat, ist das reine Salz KNO_3. Natronsalpeter darf nur in Spuren vorhanden sein. Das Präparat soll frei sein von Ueberchlorsäure und neutral reagieren.

Kalium sulfuricum, Kaliumsulfat. Offizinell ist das chemisch reine Salz.

Kalium chloricum, Kaliumchlorat, ist das chemisch reine Salz $KClO_3$. Insbesondere soll es frei sein vonSchwermetall-, Calcium- und Eisensalzen, sowie von Schwefelsäure, Salzsäure und Salpetersäure. Das Kaliumchlorat ist wegen seiner Neigung, mit brennbaren Substanzen feuergefährliche Mischungen zu geben, vorsichtig zu handhaben. Auch seine physiologische Wirkung ist keineswegs harmlos. Obgleich es zum großen Teil unverändert aus dem Organismus ausgeschieden wird, so verursacht es doch schon in mäßigen Dosen eine Veränderung des Blutfarbstoffes in Methämoglobin. Die innerliche Anwendung ist daher nicht ausgedehnt, hauptsächlich wird es als Zusatz zu Gurgelwässern, überhaupt in der Mundpflege, z. B. bei Quecksilberkuren benutzt. Die bekannte Zahnpasta Pebeco enthält als Hauptbestandteil Kaliumchlorat.

Kalium permanganicum, Kaliumpermanganat, „Uebermangansaures Kali". Das Präparat soll trockene, in 16 Teilen Wasser lösliche Prismen bilden und frei sein von Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure. Das Salz findet kaum innerliche Anwendung, es sei denn als Gegengift bei Phosphorvergiftungen. Aeußerlich dient es in Lösung als Desinfiziens, z. B. zu Gurgelwässern.

Liquor Natrii caustici, Natronlauge, enthält annähernd 15% NaOH. Sie soll frei sein von Schwermetall- und Tonerdesalzen, von Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure. 0,85% Natriumcarbonat sind zulässig.

Natrium carbonicum, Natriumcarbonat ist eine chemisch reine Kristallsoda mit einem Gehalt von mindestens 37,12% wasserfreiem Salz. Zu arzneilichen Pulvermischungen ist ausschließlich

Natrium carbonicum siccum, getrocknetes Natriumkarbonat zu verwenden, das mindestens 74,2% wasserfreies Salz enthalten soll. Es entspricht etwa der Formel $Na_2CO_3 + 2H_2O$.

Natrium bicarbonicum, Natriumbikarbonat, soll nach dem Trocknen über Schwefelsäure mindestens 98% $NaHCO_3$ enthalten. Das Präparat darf gegen Phenolphthalein nur schwach alkalisch reagieren.

Liquor Natrii silicici, Natronwasserglaslösung ist eine farblose, oder schwach gelbliche Lösung mit einem Gehalt von etwa 35% an Natriumtrisilikat und Natriumtetrasilicat.

Natrium chloratum, Natriumchlorid, ist das chemisch reine Salz.

Natrium nitricum, Natriumnitrat, ist das reine Salz. Insbesondere ist zu prüfen auf Verunreinigung mit Jodsäure, Jodwasserstoffsäure, salpetriger Säure, Chlorsäure und Perchlorsäure.

Natrium nitrosum, Natriumnitrit, ist das reine Salz $NaNO_2$. Es ist vorsichtig und in gut verschlossenen Gefäßen aufzubewahren. Medizinisch wird es nur selten verwendet. Die größte Einzeldosis ist auf 0,3 g, die größte Tagesdosis auf 1 g festgesetzt.

Natrium phosphoricum, Natriumphosphat, ist das Salz $Na_2HPO_4.12H_2O$. Zu achten ist insbesondere auf Abwesenheit von Arsen und Natriumphosphit.

Natrium sulfuricum, Natriumsulfat, ist das reine Salz $Na_2SO_4.10H_2O$. Zu arzneilichen Pulvermischungen ist stets

Natrium sulfuricum siccum, getrocknetes Natriumsulfat, zu verwenden mit einem Gehalt von 88,6% Na_2SO_4. Es entspricht der Zusammensetzung $Na_2SO_4 + H_2O$.

Natrium thiosulfuricum, Natriumthiosulfat ist das reine Salz $Na_2S_2O_3.5H_2O$. Findet kaum medizinische Anwendung.

Borax. Offizinell ist die chemisch reine Verbindung $Na_2B_4O_7.10H_2O$. Der Gehalt an wasserfreiem Tetraborat soll 52,5 bis 54,5% betragen.

Lithium carbonicum, Lithiumcarbonat. Das offizinelle Präparat soll nach dem Trocknen bei 100° mindestens 99,2% Lithiumcarbonat enthalten. Seine arzneiliche Anwendung bei harnsaurer Diathese verdankt das Lithiumcarbonat dem Umstande, daß die Harnsäure ein leicht lösliches Lithiumsalz bildet.

Ammonium carbonicum, Ammoniumcarbonat. Die Zusammensetzung des offizinellen Salzes entspricht ungefähr der Formel $NH_4HCO_3.NH_2CO_2NH_4$; es besteht mithin aus Ammoniumbicarbonat und Ammoniumcarbaminat. Es bildet dichte, durchscheinende Stücke von stark ammoniakalischem Geruche. Zu achten ist auf Abwesenheit von Rhodanverbindungen, Thiosulfaten und empyreumatischen Teerbestandteilen. Wegen seiner Veränderlichkeit durch Abdunsten von Ammoniak muß es in gut verschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden.

Ammonium chloratum, Ammonium-

Digitized by Google

chlorid ist das reine Salz NH_4Cl. Es dient arzneilich als Expektorans.

1h) Alkalische Erden. — Calcaria usta, gebrannter Kalk. Für pharmazeutische Zwecke findet Aetzkalk wohl nur in Form von

Aqua Calcariae, Kalkwasser, Anwendung. Es soll annähernd 0,15 % $Ca(OH)_2$ enthalten. Es findet innerlich nicht gerade häufig Anwendung. Aeußerlich wird es, mit Leinöl gemischt, sehr häufig bei Verbrennungen gebraucht.

Calcium carbonicum praecipitatum, gefälltes Calciumcarbonat, ist ein mikrokristallinisches, durch heiße Fällung einer Chlorcalciumlösung mit Soda gewonnenes Pulver. Seine Hauptanwendung findet es in Zahnpulvermischungen.

Calcium sulfuricum ustum, gebrannter Gips entspricht hinsichtlich seiner Zusammensetzung ungefähr der Formel $CaSO_4 . \frac{1}{2}H_2O$. Nach dem Mischen mit der halben Gewichtsmenge Wasser muß binnen 10 Minuten Erhärtung stattfinden. Findet nur für Gipsverbände Anwendung.

Calcium phosphoricum, Calciumphosphat. Das offizinelle Präparat besteht im wesentlichen aus dem Salz $CaHPO_4 . 2H_2O$. Beim Glühen muß das Salz 25 bis 26,2 % an Gewicht verlieren. Zu achten ist auf Abwesenheit von Arsen, Salzsäure, Schwefelsäure, Eisen- und Tricalciumphosphat. Wird bei Rachitis gegeben.

Calcium hypophosphorosum, Calciumhypophosphit ist das reine Salz $Ca(H_2PO_2)_2$. Es ist in den letzten Jahren bei den verschiedensten Krankheiten in Gebrauch gekommen.

Baryum chloratum, Baryumchlorid ist das chemisch reine Salz $BaCl_2 + 2H_2O$. Es findet fast nur in der Tierheilkunde Anwendung. In der Humanmedizin hat es sich trotz seiner Digitalis-ähnlichen Wirkung nicht einführen können.

1i) Magnesium, Zink und Quecksilber. — Magnesia usta, gebrannte Magnesia, ist ein durch Glühen von basischem Magnesiumcarbonat hergestelltes Magnesiumoxyd und bildet ein sehr leichtes, voluminöses Pulver. Dichtere Sorten, besonders in England gebräuchlich, werden als Magnesia usta ponderosa unterschieden.

Magnesium carbonicum, basisches Magnesiumcarbonat, ist je nach der Darstellungsweise von verschiedener Zusammensetzung, z. B. $(MgCO_3)_3 . Mg(OH)_2 . 3\,H_2O$ oder $(MgCO_3)_4 . Mg(OH)_2 . 4H_2O$. Verlangt wird ein Präparat, das mindestens 40 % Glührückstand hinterläßt, entsprechend einem Gehalt von 24 % Mg. — Magnesia usta und Magnesium carbonicum dienen vielfach zur Abstumpfung überschüssiger Magensäure.

Magnesium sulfuricum, Magnesiumsulfat, Bittersalz, ist das reine Salz $MgSO_4 . 7\,H_2O$. Zu arzneilichen Pulvermischungen dient ein teilweise entwässertes Präparat,

Magnesium sulfuricum siccum mit einem Gehalt von 70 % $MgSO_4$, entsprechend der ungefähren Zusammensetzung $MgSO_4 . 2\,H_2O$. Bittersalz ist ein vielgebrauchtes Abführmittel.

Talcum, Talk, ist gepulverter Talkstein, im wesentlichen ein Magnesiumpolysilikat. Es bildet ein feines, fettig anzufühlendes weißes Pulver. Dient nur als Streupulver.

Zincum chloratum, Zinkchlorid, bildet ein weißes kristallinisches Pulver oder weiße Stangen. Zur pharmazeutischen Verwendung soll ein reines, von Zinkoxychlorid möglichst freies Salz benutzt werden. Es dient in konzentrierten Lösungen als Aetzmittel, besonders in der Gynäkologie.

Zincum oxydatum, Zinkoxyd, ist ein durch Glühen von gefälltem basischem Zinkcarbonat hergestelltes reines Präparat.

Zincum oxydatum crudum, rohes Zinkoxyd, ist ein käufliches Zinkweiß. Verlangt wird Abwesenheit von Magnesium-, Kalk-, Eisen- und Bleisalzen. Das Zinkoxyd findet in Form von Salben und Streupulvern eine ausgedehnte Anwendung in der Dermatologie.

Zincum sulfuricum, Zinksulfat. Offizinell ist das chemisch reine Salz $ZnSO_4 . 7\,H_2O$. Innerlich wird es kaum benutzt, äußerlich findet es in Lösung als Adstringens eine umfangreiche Anwendung, z. B. in der Augenheilkunde und bei Gonorrhöe.

Hydrargyrum, Quecksilber, ist das vollständig flüchtige, in Salpetersäure völlig lösliche Metall.

Hydrargyrum chloratum, Quecksilberchlorür, Kalomel, ist ein aus sublimiertem Quecksilberchlorür hergestelltes, feinst geschlämmtes, kristallinisches Pulver. Chemisch ist es die reine Verbindung Hg_2Cl_2.

Hydrargyrum chloratum vapore paratum, durch Dampf bereitetes Quecksilberchlorür, ist ein durch schnelles Abkühlen des Quecksilberchlorürdampfes hergestelltes Präparat, das bei 100 facher Vergrößerung nur vereinzelte Kriställchen zeigt. Infolge seiner feineren Verteilung ist der Dampfkalomel physiologisch wirksamer, als der gewöhnliche.

Hydrargyrum chloratum via humida paratum ist ein durch Fällen von Merkuronitratlösung mit Chlornatrium dargestelltes Präparat von noch feinerer Verteilung und dementsprechend höherer Wirksamkeit als der Dampfkalomel.

Hydrargyrum jodatum flavum ist gelblich-grünes Quecksilberjodür.

Hydrargyrum bichloratum, Quecksilberchlorid, Sublimat, ist das reine Salz $HgCl_2$.

Digitized by Google

Hydrargyrum bijodatum, Quecksilberjodid ist das scharlachrote reine Salz HgJ_2.

Hydrargyrum oxydatum, Quecksilberoxyd, ist ein gelblichrotes, feinst geschlämmtes, kristallinisches Pulver. Die Darstellung erfolgt durch Erhitzen von Quecksilbernitrat.

Hydrargyrum oxydatum via humida paratum, gelbes Quecksilberoxyd, ist ein durch Fällen von Quecksilberchloridlösung mit Natronlauge gewonnenes amorphes Pulver. Findet besonders zu Augensalben Verwendung.

Hydrargyrum sulfuratum rubrum, rotes Quecksilbersulfid, ist die reine Verbindung HgS.

Hydrargyrum praecipitatum album, weißer Quecksilberpräzipitat, wird durch Fällen einer Quecksilberchloridlösung mit Ammoniak in der Kälte dargestellt. Das Präparat ist der sogenannte umschmelzbare Präzipitat von der Zusammensetzung NH_2HgCl. Wird nur äußerlich in Form von Salben verwendet.

1k) Eisen, Aluminium, Chrom.

Ferrum sulfuricum, Ferrosulfat, ist ein mit Alkohol aus der wässerigen Lösung gefälltes Kristallmehl der Zusammensetzung $FeSO_4 . 7 H_2O$.

Ferrum sulfuricum siccum wird aus Ferrosulfat durch Trocknen bereitet, bis 35 bis 36% Wasser entwichen sind. Es entspricht der Zusammensetzung $FeSO_4 + H_2O$.

Ferrum carbonicum saccharatum, zuckerhaltiges Ferrocarbonat, ist eine Mischung von Ferrocarbonat mit Zucker und Milchzucker. Durch den Zuckerzusatz erreicht man, daß das Ferrokarbonat sich erheblich langsamer oxydiert. Gehalt des grünlichgrauen Pulvers an Eisen 9,5 bis 10%.

Ferrum oxydatum saccharatum, Eisenzucker, ist ein Präparat aus frisch gefälltem Eisenhydroxyd, Zucker und wenig Natronlauge. Ob es sich bei dem völlig löslichen Präparate um ein komplexes Eisensaccharat oder um ein kolloidales Eisenhydroxyd handelt, ist noch nicht entschieden. Jedenfalls ist das Eisen nicht als Ion vorhanden. Gehalt an Eisen 2,8 bis 3%.

Liquor Ferri sesquichlorati, Eisenchloridlösung ist eine Lösung von $FeCl_3$ in Wasser. Der Gehalt an Eisen beträgt 10%. Das Präparat soll keine freie Salzsäure enthalten. Dient vorzugsweise als blutstillendes Mittel.

Liquor Ferri oxychlorati dialysati, dialysierte Eisenchloridlösung, ist eine kolloidale Lösung von Eisenhydroxyd, die geringe Mengen von Chloriden in adsorbiertem Zustande enthält. Der Eisengehalt beträgt 3,3 bis 3,6%.

Liquor Ferri jodati, Eisenjodürlösung, ist eine ex tempore zu bereitende Eisenjodürlösung mit einem Gehalt von 50% FeJ_2.

Aluminium sulfuricum, Aluminiumsulfat, ist das technisch reine, arsenfreie Salz $Al_2(SO_4)_3 + 18H_2O$. Es dient hauptsächlich zur Darstellung von essigsaurer Tonerde.

Alumen, Alaun ist reiner Kalialaun $KAl(SO_4)_2 + 12H_2O$. Wird als Adstringens viel gebraucht.

Alumen ustum, gebrannter Alaun, ist ein schwach gebrannter Alaun, d. h. nur entwässerter Alaun. Bei stärkerem Glühen bilden sich aus Alaun unter Fortgang von SO_3 wesentliche Mengen Al_2O_3, wodurch das Präparat die verlangte Löslichkeit in Wasser verliert.

Bolus alba, weißer Ton, ist ein rein weißes, von Sand und Carbonaten freies Tonerdesilikat von der ungefähren Zusammensetzung $Al_2O_3 . 2 SiO_2 . 2 H_2O$. Wegen seiner plastischen Eigenschaften dient er als Konstituens für Pillenmassen. Neuerdings wird er auch innerlich bei Diarrhöen gegeben.

Acidum chromicum, Chromsäure, ist Chromtrioxyd. Das Präparat soll frei sein von Schwefelsäure. Dient als Aetzmittel.

Ferrum pulveratum, gepulvertes Eisen, soll mindestens 97,8% Eisen enthalten. Es soll frei von Arsen und fremden Schwermetallen sein.

Ferrum reductum, reduziertes Eisen, wird durch Reduktion von reinem Eisenoxyd durch Erhitzen im Wasserstoffstrom gewonnen. Das Präparat ist ein Gemisch von metallischem Eisen (ca. 90%) und Eisenoxyduloxyd. Der Gesamtgehalt an Eisen soll mindestens 96,6% betragen.

1l) Blei, Kupfer, Silber, Gold.

Lithargyrum, Bleiglätte, ist ein technisch reines Bleioxyd. Es soll frei von Kupfer- und nahezu frei von Eisensalzen sein. Findet nur zur Darstellung anderer Bleipräparate Anwendung.

Minium, Mennige, ist das technisch reine, lebhaft rot gefärbte Präparat von der annähernden Zusammensetzung Pb_3O_4. Wird nur zur Darstellung anderer Präparate gebraucht.

Cerussa, Bleiweiß, ist ein basisches Bleicarbonat von der annähernden Zusammensetzung $(PbCO_3)_2 . Pb(OH)_2$. Das Präparat soll demgemäß beim Glühen mindestens 85% Bleioxyd hinterlassen. Findet in Salben arzneiliche Anwendung. Für kosmetische Zwecke ist Bleiweiß gesetzlich verboten.

Cuprum sulfuricum, Kupfersulfat, ist das reine Salz $CuSO_4 . 5 H_2O$. Wird innerlich als Brechmittel, äußerlich zu Aetzungen verwendet.

Cuprum aluminatum, Kupferalaun, ist eine durch Schmelzen und rasches Abkühlen gewonnene Mischung von 17 Teilen Alaun, je 16 Teilen Kupfersulfat und Kalium-

Digitized by Google

nitrat und 1 Teil Kampfer. Dient als mildes Aetzmittel in der Augenheilkunde.

Argentum colloidale, kolloidales Silber, Kollargol, ist ein aus grün- oder blauschwarzen, glänzenden Blättchen bestehendes Präparat, das sich in Wasser kolloidal löst. Die Handelspräparate enthalten gegen 80% Silber und Eiweißstoffe als Schutzkolloide. Das kolloidale Silber wird bei den verschiedensten Krankheiten angewandt. Die Ansichten über seinen therapeutischen Wert sind geteilt.

Argentum nitricum, Silbernitrat, Höllenstein, ist das chemisch reine Salz. Die innerliche Anwendung ist nicht mehr bedeutend, äußerlich wird es vielfach gebraucht.

Argentum nitricum cum Kalio nitrico wird durch Zusammenschmelzen von Silbernitrat mit der doppelten Menge Kaliumnitrat dargestellt.

Auro-Natrium chloratum, Natriumgoldchlorid, ist nicht die chemische Verbindung $NaAuCl_4.2H_2O$, sondern ein Gemisch derselben mit Natriumchlorid. Das Präparat enthält 30% Gold.

2. Organisch - chemische Präparate.

2a) Aliphatische Verbindungen. — Benzinum Petrolei ist die zwischen 50° und 75° destillierende nicht fluoreszierende Fraktion des amerikanischen Erdöls vom spezifischen Gewicht 0,661—0,686. Besteht hauptsächlich aus Pentan und Hexan.

Paraffinum liquidum, flüssiges Paraffin, ist eine aus den Rückständen von der Destillation des Petroleums, besonders des kaukasischen, gewonnene farb- und geruchlose ölige Flüssigkeit. Siedepunkt nicht unter 360°, spezifisches Gewicht nicht unter 0,885. — Es dient nur zur Bereitung von Salben.

Paraffinum solidum, Ceresin, ist eine durch Reinigung des Ozokerits (Erdwachs) gewonnene, weiße, feste, mikrokristallinische Masse vom Schmelzpunkt 68° bis 72°. Es besteht aus hochmolekularen Kohlenwasserstoffen; gegen warme Schwefelsäure soll es beständig sein.

Vaselinum flavum, gelbes Vaselin, ist ein aus den Rückständen der Petroleumdestillation gewonnenes Mineralfett. Es bildet eine gelbe durchscheinende, zähe Masse von gleichförmiger weicher Salbenkonsistenz. Schmilzt zwischen 35 und 40° zu einer gelben, blau fluoreszierenden, klaren Flüssigkeit. Vaselinum album ist ein gebleichtes Vaselin.

Pental ist Trimethyläthylen $(CH_3)_2:C=CH.CH_3$; wenig gebrauchtes Anästhetikum.

Aether chloratus ist Chloräthyl; das zu pharmazeutischen Zwecken dienende Präparat darf nicht mit Hilfe von Phosphorchloriden hergestellt sein. Es dient als Lokalanästhetikum.

Aether bromatus ist Bromäthyl; es darf nicht mit Hilfe von Bromphosphor bereitet werden, sondern muß durch Umsetzung von Aethylschwefelsäure und Bromkalium gewonnen sein. Es dient als Lokalanästhetikum.

Choloroformium. Das offizinelle Präparat ist nicht chemisch rein. Es wird vielmehr der besseren Haltbarkeit wegen eine kleine Menge — 0,6 bis 1% — absoluter Alkohol zugesetzt. Es soll frei von Salzsäure, Chlor und Phosgen sein und muß beim Schütteln mit konzentrierter Schwefelsäure während einer Stunde farblos bleiben.

Chloroformium pro narcosi. Es werden höhere Anforderungen an die Reinheit gestellt. Mit konzentrierter Schwefelsäure darf binnen 48 Stunden, mit Schwefelsäure und einigen Tropfen Formaldehyd binnen ½ Stunde keine Färbung eintreten.

Chloroform Pictet ist durch Gefrierenlassen gereinigtes Chloroform.

Chloroform Anschütz ist aus der reinen Salicylidverbindung des Chloroforms wieder abgeschieden.

Bromoformium ist ein mit etwa 4% absolutem Alkohol versetztes Bromoform. Erstarrungspunkt 5° bis 6°. Beim Schütteln mit konzentrierter Schwefelsäure darf binnen 10 Minuten keine Färbung auftreten. Wird gegen Keuchhusten gegeben.

Jodoformium ist die reine Verbindung CHJ_3.

Alcohol methylicus, Methylalkohol, ist zur Darstellung von pharmazeutischen Präparaten wegen seiner Giftigkeit nicht anzuwenden.

Alcohol absolutus ist ein reiner Alkohol von 99,66 bis 99,46 Volumprozenten.

Spiritus, Weingeist, enthält 91,29 bis 90,09 Volumprozente oder 87,35 bis 85,80 Gewichtsprozente Alkohol.

Spiritus dilutus, verdünnter Weingeist, enthält 69 bis 68 Volumprozente oder 61 bis 60 Gewichtsprozente Alkohol.

Amylenum hydratum, Amylenhydrat, ist reiner tertiärer Amylalkohol. Findet als Schlafmittel beschränkte Anwendung.

Glycerinum ist ein reines Glycerin von etwa 85%. Nur die durch Destillation oder Ausfrieren gereinigten Sorten entsprechen den Anforderungen.

Aether ist wasser- und alkoholfreier Aethyläther vom spezifischen Gewicht 0,720.

Aether pro narcosi muß hinsichtlich seiner Reinheit folgenden Anforderungen genügen: Mit erbsengroßen Stücken Kaliumhydroxyd darf beim Stehen unter Lichtabschluß binnen 6 Stunden keine Gelbfärbung eintreten. Mit Jodkaliumlösung darf bei häufigem Umschütteln innerhalb 3 Stunden keine Färbung eintreten.

Digitized by Google

Formaldehyd solutus, Formaldehydlösung, Formalin ist eine neutrale oder schwach sauer reagierende, stechend riechende Flüssigkeit. Sie enthält neben wechselnden Mengen Metyhlalkohol 35% Formaldehyd. Wird nur zu Desinfektionszwecken und zu äußerlichem Gebrauch, besonders bei übermäßiger Schweißabsonderung gebraucht. Innerlich werden eine Reihe Präparate benutzt, die erst im Organismus Formaldehyd abspalten sollen. Das wichtigste ist

Hexamethylentetramin, Urotropin, die reine chemische Verbindung $(CH_2)_6N_4$.

Helmitol ist anhydromethylenzitronensaures Hexamethylentetramin.

Lysoform ist eine Lösung von Kaliseife und Formaldehyd.

Paraldehyd $(CH_3CHO)_3$. Das offizinelle Präparat enthält etwa 4% Acetaldehyd. Ein solches Gemisch entspricht dem Gleichgewichtszustande zwischen Acetaldehyd und Paraldehyd. Erstarrungspunkt 6 bis 7°.

Chloralum hydratum, Chloralhydrat, ist die reine Verbindung $CCl_3.CH(OH)_2$. Wegen seiner schädigenden Wirkung auf das Herz wird es als Schlafmittel nicht mehr so häufig angewandt wie früher.

Chloralum formamidatum, Chloralformamid, ist ein Additionsprodukt von Chloral und Formamid, $CCl_3.CH(OH).NH.CHO$, vom Schmelzpunkt 114 bis 115°. Dient als Schlafmittel.

Isopral, Trichlorisopropylalkohol, $CCl_3.CH(OH).CH_3$, ist ein Schlafmittel, das aus Chloral und Methylmagnesiumjodid synthetisch gewonnen wird. Farblose, bei 49° schmelzende Kristalle.

Sulfonal, chemisch Diäthylsulfon-dimethylmethan von der Formel $\begin{matrix} CH_3 & & SO_2C_2H_5 \\ & C & \\ CH_3 & & SO_2C_2H_5 \end{matrix}$ bildet weiße, in Wasser schwer lösliche Kristalle vom Schmelzpunkt 125 bis 126°. Dient als Schlafmittel.

Methylsulfonal, Trional, chemisch Diäthylsulfon-methyl-äthylmethan von der Formel $\begin{matrix} CH_3 & & SO_2C_2H_5 \\ & C & \\ C_2H_5 & & SO_2C_2H_5 \end{matrix}$ bildet weiße, in Wasser wenig lösliche Kristalle vom Schmelzpunkt 76°.

Tetronal, chemisch Diäthylsulfon-diäthylmethan von der Formel $\begin{matrix} C_2H_5 & & SO_2.C_2H_5 \\ & C & \\ C_2H_5 & & SO_2.C_2H_5 \end{matrix}$ bildet weiße, in Wasser wenig lösliche Kristalle vom Schmelzpunkt 85°.

Acidum formicicum, Ameisensäure, ist eine 24- bis 25prozentige Lösung reiner Ameisensäure vom spezifischen Gewicht 1,061 bis 1,064. Dient hauptsächlich in Form des

Spiritus Formicarum, Ameisenspiritus zum äußerlichen Gebrauch. Ameisenspiritus ist eine Mischung von 1 Teil offizineller Ameisensäure mit 14 Teilen Weingeist und 5 Teilen Wasser. Enthält etwa 1,25% Ameisensäure.

Acidum aceticum ist reine Essigsäure von mindestens 96%. Dient nur als Aetzmittel (bei Warzen).

Acidum aceticum dilutum ist eine verdünnte Essigsäure von 30% Gehalt.

Acetum ist ein durch Essiggärung erhaltener Essig mit einem Gehalt von 6% Essigsäure.

Acetum pyrolignosum crudum, roher Holzessig, ist eine braune, nach Teer und Essigsäure riechende, sauer und etwas bitter schmeckende Flüssigkeit. Gehalt mindestens 6% Essigsäure.

Acetum pyrolignosum rectificatum wird durch Destillation des rohen Holzessigs gewonnen und ist eine gelbliche, nach Teer und Essigsäure riechende Flüssigkeit mit mindestens 5% Essigsäure.

Liquor Kalii acetici ist eine 33,3prozentige wässerige Lösung von Kaliumacetat. Als Diuretikum in Gebrauch.

Natrium aceticum ist reines Natriumacetat $CH_3.COONa.3H_2O$.

Plumbum aceticum ist reines Bleiacetat $Pb(C_2H_3O_2)_2.3H_2O$.

Liquor Plumbi subacetici, Bleiessig, ist eine aus 3 Teilen Bleiacetat, 1 Teil Bleiglätte und 10 Teilen Wasser zu bereitende Lösung von basischem Bleiacetat. Enthält hauptsächlich das Salz $2[(C_2H_3O_2)_2Pb].PbO.H_2O$. Bleiessig liefert beim Verdünnen mit der 49 fachen Menge Wasser die

Aqua Plumbi, Bleiwasser, das vielfach zu kühlenden Umschlägen Verwendung findet.

Liquor Aluminii acetici, essigsaure Tonerde, enthält 7,3 bis 8,3% basisches Aluminiumacetat von der Zusammensetzung $Al(C_2H_3O_2)_2OH$. Das Präparat wird durch Umsetzung von Aluminiumsulfat mit Calciumacetatlösung dargestellt. Dient in Verdünnung als mildes, antiseptisches Adstringens.

Liquor Aluminii acetico-tartarici ist eine 45 prozentige Lösung von Aluminiumacetotartrat und wird durch Eindampfen von 500 Teilen Aluminiumacetatlösung, 15 Teilen Weinsäure und 6 Teilen Essigsäure auf 114 Teile hergestellt.

Acidum trichloraceticum, Trichloressigsäure, ist die reine Verbindung $CCl_3.COOH$. Sie bildet farblose, leicht zerfließliche Kristalle vom Schmelzpunkt 55°, riecht stechend und dient als Aetzmittel.

Bromural ist α-Bromisovalerylharnstoff $(CH_3)_2.CH.CHBr.CO.NH.CO.NH_2$. Es bildet farblose Kristalle, die schwach bitter schmecken, in Wasser nur wenig löslich sind und gegen 145° schmelzen. Dient als Sedativum und Schlafmittel.

Digitized by Google

Neuronal ist Diäthylbromacetamid $(C_2H_5)_2CBr.CONH_2$. Es bildet ein weißes, in Wasser wenig lösliches Kristallpulver und dient als Sedativum und Hypnotikum.

Adalin ist Diäthylbromacetylharnstoff $(C_2H_5)_2CBr.CO.NH.CO.NH_2$. Es ist ein weißes Kristallpulver und dient als Sedativum und Hypnotikum.

Sabromin ist das Calciumsalz der Dibrombehensäure, die durch Addition von Brom aus der ungesättigten Erucasäure des Rüböls entsteht. Formel $(C_{22}H_{41}Br_2O_2)_2Ca$. Wird als Ersatz des Bromkaliums gegeben.

Sajodin ist das Calciumsalz der Monojodbehensäure $(C_{22}H_{42}JO_2)_2Ca$. Es ist ein weißes, unlösliches Pulver und wird an Stelle der Jodalkalien arzneilich verwendet. Es hat vor letzteren den Vorzug der Lipoidlöslichkeit und soll keinen Jodismus verursachen.

Acidum lacticum, Milchsäure, ist die inaktive Gärungsmilchsäure $CH_3.CH(OH).COOH$. Das Präparat bildet eine sirupdicke, rein sauer schmeckende Flüssigkeit und enthält 75% Milchsäure und 15% sogenanntes Milchsäureanhydrid

$$\begin{array}{l} CH_3.CH.COOH \\ \quad\quad\;\; | \\ \quad\quad\;\; O.CO.CH(OH).CH_3. \end{array}$$

Ferrum lacticum ist Ferrolactat $(C_3H_5O_3)_2Fe.3H_2O$. Das Präparat soll mindestens 18,9% Eisen enthalten. Es bildet grünlichweiße Krusten von eigenartigem Geruche und löst sich in der 40-fachen Menge Wasser.

Acidum tartaricum ist reine Rechts-Weinsäure.

Tartarus depuratus, Weinstein, ist Kaliumbitartrat. Er bildet ein weißes, zwischen den Zähnen knirschendes Pulver von säuerlichem Geschmack. Er soll frei sein von Schwermetallen und fast frei von Kalksalzen.

Tartarus natronatus, Kaliumnatriumtartrat, Seignettesalz, ist die Verbindung

$$\begin{array}{l} CH(OH).COONa \\ | \\ CH(OH).COOK \end{array} .4H_2O.$$ Das Präparat bildet in Wasser leicht lösliche Kristalle und schmeckt milde salzig.

Tartarus stibiatus, Brechweinstein, besitzt die Zusammensetzung $C_4H_4O_6(SbO)K . \frac{1}{2}H_2O$. Das Präparat bildet ein weißes Kristallpulver. Die Lösung reagiert schwach sauer und schmeckt süßlich und widerlich. Dient als Brechmittel und, in kleineren Dosen, als Expectorans.

Acidum citricum ist reine mit 1 Mol Wasser kristallisierte Zitronensäure.

Magnesium citricum effervescens, Brausemagnesia, ist eine Mischung aus Magnesiumcarbonat, Natriumbicarbonat, Zitronensäure und Zucker. Dient als leichtes Abführmittel.

Agaricin, Agaricinsäure, ist das wirksame Prinzip des Lärchenschwammes von der Konstitution

$$\begin{array}{l} CH_2.COOH \\ | \\ C(OH)COOH \quad .1\frac{1}{2}H_2O. \\ | \\ CH(C_{16}H_{33}).COOH \end{array}$$

Die Substanz bildet ein weißes, geruch- und geschmackloses, kristallinisches Pulver, das in kaltem Wasser, Alkohol und Aether wenig löslich ist, in heißem Wasser aufquillt und sich zu einer stark schäumenden Flüssigkeit löst. Dient in Dosen von 1 bis 5 cg gegen die Nachtschweiße der Phthisiker.

Mixtura sulfurica acida, Hallersches Sauer, ist eine Mischung aus 1 Teil konzentrierter Schwefelsäure und 3 Teilen Weingeist. Der wesentliche Bestandteil ist Aethylschwefelsäure.

Spiritus aetheris nitrosi, versüßter Salpetergeist, ist im wesentlichen eine alkoholische Lösung von Aethylnitrit, C_2H_5ONO, und enthält außerdem Aldehyd und Essigsäureäthylester. Das Präparat bildet eine farblose oder gelbliche, ätherisch riechende und süßlich brennend schmeckende Flüssigkeit.

Amylium nitrosum, Amylnitrit, von der Formel $(CH_3)_2.CH.CH_2.CH_2.O.NO$, bildet eine klare, gelbliche Flüssigkeit von fruchtartigem Geruche und brennend würzigem Geschmacke. Siedepunkt 95 bis 97°. Wirkt gefäßerweiternd und daher den Blutdruck erniedrigend.

Aether aceticus ist Essigsäureäthylester.

Cetaceum, Walrat, ist der gereinigte, feste Anteil des Inhalts besonderer Höhlen im Körper der Potwale. Walrat bildet weiße, glänzende, im Bruch großblätterig-kristallinische, fettig anzufühlende Stücke; Schmelzpunkt 45 bis 54°. Besteht hauptsächlich aus Palmitinsäurecetylester $C_{15}H_{31}.COOC_{16}H_{33}$.

Acidum hydrocyanicum ist Blausäure. Wird medizinisch meist verwendet in Form von

Aqua Amygdalarum amararum, Bittermandelwasser, eines Destillats aus bitteren Mandeln, deren Amygdalin durch Spaltung Blausäure und Benzaldehyd liefert, die beide im Bittermandelwasser in alkoholisch wässeriger Lösung enthalten sind. Der Gesamtgehalt an Blausäure beträgt 0,099 bis 0,107%; davon sollen höchstens 0,02% in freiem Zustande vorhanden sein. Der Rest findet sich in chemischer Bindung mit Benzaldehyd.

Aqua Lauro-Cerasi, Kirschlorbeerwasser, ist streng genommen ein Destillat aus den Blättern von Prunus Lauro-Cerasus.

Digitized by Google

An seiner Stelle wird in der Regel das chemisch damit identische Bittermandelwasser verwendet.

Hydrargyrum cyanatum ist chemisch reines Quecksilbercyanid.

Hydrargyrum oxycyanatum, Mercurioxycyanid, $HgO.3Hg(CN)_2$, ist ein weißes, kristallinisches, wasserlösliches Pulver. Dient als Antisepticum an Stelle des stärker ätzend wirkenden Sublimats.

Oleum Sinapis, Senföl, ist das meist synthetisch gewonnene Allylsenföl $CH_2:CH.CH_2.NCS$. Das Präparat soll mindestens 97% der reinen Verbindung enthalten. Es bildet eine farblose oder gelbliche Flüssigkeit von äußerst scharfem, zu Tränen reizenden Geruch.

Spiritus Sinapis ist eine Mischung von 1 Teil Senföl mit 49 Teilen offizinellem Spiritus.

Spiritus Cochleariae, Löffelkrautspiritus, ist ein alkoholhaltiges Destillat aus dem Kraut von Cochlearia offizinalis. Enthält als wirksame Substanz Isobutylsenföl.

Urethanum ist reines Aethylurethan $NH_2.CO.OC_2H_5$. Dient als Schlafmittel.

Hedonal ist Methyl-propyl-carbinol-urethan $NH_2.CO.OCH\langle^{CH_3}_{C_3H_7}$. Dient als Schlafmittel.

Acidum diaethylbarbituricum, Veronal, ist Diäthyl-malonylharnstoff, $(C_2H_5)_2:C\langle^{CO-NH}_{CO-NH}\rangle CO$. Bildet farblose, schwach bitter schmeckende Kristallblättchen vom Schmelzpunkt 190 bis 191°. Das Präparat löst sich in 170 Teilen Wasser mit schwach saurer Reaktion auf. Dient als Schlafmittel. Die Natriumverbindung findet unter dem Namen

Medinal, Veronalnatrium, arzneiliche Verwendung. Sie hat den Vorzug, in Wasser löslich zu sein. Die Lösungen reagieren alkalisch.

Proponal ist Dipropylbarbitursäure $(C_3H_7)_2C\langle^{CO-NH}_{CO-NH}\rangle CO$. Es bildet dem Veronal ähnliche Kristalle vom Schmelzpunkt 145°. Dient gleichfalls als Schlafmittel.

Saccharum ist Zucker. Für pharmazeutische Zwecke sollte nur ultramarinfreier Zucker verwendet werden.

Saccharum Lactis ist reiner Milchzucker $C_{12}H_{22}O_{11}.H_2O$.

Amylum Oryzae ist Reisstärke.

Amylum Tritici ist Weizenstärke.

Collodium ist eine 4prozentige Auflösung von Collodiumwolle, hauptsächlich Zellulosedinitrat neben wenig Zellulosetrinitrat, in einer Mischung von 3 Teilen Weingeist und 21 Teilen Aether.

2b) Carbocyclische Verbindungen.

Acetanilidum, Antifebrin, ist die chemisch reine Verbindung $C_6H_5.NH.COCH_3$ vom Schmelzpunkt 113 bis 114°. Es bildet weiße, glänzende Kristallblättchen von schwach brennendem Geschmack und ist in 230 Teilen Wasser löslich. Wird als Antipyreticum und Antineuralgicum gebraucht.

Exalgin ist Acet-methylanilid, $C_6H_5.N:(CH_3).COCH_3$. Bildet farblose in 60 Teilen Wasser lösliche Kristalle vom Schmelzpunkt 102°. Dient als Analgeticum und Antineuralgicum.

Acidum carbolicum, Karbolsäure, ist chemisch reines Phenol, $C_6H_5.OH$, vom Erstarrungspunkt 39° bis 41°.

Acidum carbolicum liquefactum ist eine bei gewöhnlicher Temperatur flüssig bleibende Mischung von 10 Teilen Karbolsäure mit einem Teile Wasser. Gehalt mindestens 87,8% Phenol.

Xeroform ist ein basisches Wismutsalz des Tribromphenols von der ungefähren Zusammensetzung $(C_6H_2Br_3O)_2BiOH.Bi_2O_3$. Es bildet ein gelbes, ca. 60% Bi_2O_3 enthaltendes, geruch- und geschmackloses, in Wasser unlösliches Pulver. Findet als Jodoformersatz in Form von Streupulver und Salben, auch in Verbandstoffen, Anwendung.

Phenacetinum ist chemisch reines Acet-p-phenetidid von der Formel

$$C_6H_4\langle^{NH.COCH_3}_{OC_2H_5}\quad [1,4].$$

Es bildet farblose, in Wasser sehr schwer lösliche Kristallblättchen und findet als Antipyreticum und Antineuralgicum ausgedehnte Anwendung.

Lactylphenetidinum, Lactophenin, ist p-Lactylphenetidin von der Formel

$$C_6H_4\langle^{NH.CO.CH(OH).CH_3}_{OC_2H_5}\quad [1,4]$$

und dem Schmelzpunkt 117 bis 118°. Es bildet schwach bitter schmeckende Kristallnadeln, die in Wasser schwer löslich sind. Die Anwendung ist ähnlich wie bei Phenacetin.

Cresolum crudum ist eine gelbliche, bei der Aufbewahrung dunkler werdende, brenzlich riechende Flüssigkeit, die aus einem Gemisch von o-, m- und p-Kresol besteht. Verlangt wird ein Gehalt von 50% m-Kresol. Von 50 g sollen 46 g zwischen 199° und 204° übergehen.

Creolin, Creosapol sind Bezeichnungen für zu Desinfektionszwecken benutzte Kresolpräparate, die beim Verdünnen mit Wasser eine emulsionsartige Flüssigkeit geben. Die

Digitized by Google

Kresole sind entweder durch Harzseife oder durch Behandeln mit konzentrierter Schwefelsäure in Lösung gebracht.

Lysol ist ein Kresolpräparat, das beim Verdünnen mit Wasser eine klare Lösung gibt. Das Kresol wird durch Kaliseife in Lösung gehalten. Es bildet eine rotbraune, ölige, teerartig riechende Flüssigkeit und wird als Desinfektionsmittel benutzt.

Thymolum ist reines Thymol

$$C_6H_3 \begin{cases} CH_3 \\ CH(CH_3)_2 \\ OH \end{cases} [1, 4, 3].$$

Es bildet große Kristalle, die nach Thymian riechen. Dient als Antiseptikum, besonders als Zusatz zu Mundwässern.

Aristolum, Annidalin ist Dijoddithymol $C_{20}H_{24}J_2O_2$. Es bildet ein hellbraunes, in Wasser unlösliches Pulver mit 46,1% Jod und findet in der Chirurgie und Dermatologie als Streupulver und in Salben Anwendung.

Resorcinum ist chemisch reines Resorcin, $C_6H_4(OH)_2$[1,3]. Wird als Antiseptikum und bei Hautkrankheiten gebraucht.

Guajacolum, Guajacol, ist der Monomethyläther des Brenzcatechins

$$C_6H_4 \begin{cases} OH \\ OCH_3 \end{cases} [1.2].$$

Vielfach ist nicht das chemisch reine, kristallisierte bei 31 bis 32° schmelzende Präparat, sondern ein nicht völlig reines, flüssiges Guajacol im Gebrauch. Es riecht durchdringend rauchartig und schmeckt brennend. Guajacol und zahlreiche Derivate werden gegen Tuberkulose angewandt.

Guajacolum carbonicum, Duotal, ist der Kohlensäureester des Guajacols

$$\begin{matrix} CH_3O.C_6H_4O & [1, 2] \\ & & CO. \\ CH_3O.C_6H_4O & [1, 2] \end{matrix}$$

Es bildet ein weißes, kristallinisches, fast geruchloses Pulver, das in Wasser unlöslich ist und bei 86° bis 88° schmilzt.

Geosot ist valeriansaures Guajacol, $C_6H_4(OCH_3)O.CO.C_4H_9$ und bildet eine farblose Flüssigkeit.

Benzosol ist Benzoylguajakol $C_6H_4(OCH_3)O.CO.C_6H_5$. Weißes, geschmackloses Kristallpulver vom Schmelzpunkt 56° bis 58°.

Gujasanol ist das salzsaure Salz des Diäthylglycocoll-guajacols $C_6H_4(OCH_3)O.CO.CH_2.N(C_2H_5)_2.HCl$. Es ist ein wasserlösliches Kristallpulver vom Schmelzpunkt 184° und salzig bitterem Geschmack.

Kreosotum, Kreosot, ist eine Fraktion des Buchenholzteers, die in der Hauptsache zwischen 200 und 220° destilliert. Es bildet eine gelbliche, ölartige Flüssigkeit von durchdringendem Geruch und brennendem Geschmack. Es besteht chemisch hauptsächlich aus Guajacol und Kreosol $C_6H_3(CH_3).(OCH)_3.OH$. Findet ausgedehnte Anwendung gegen Tuberkulose.

Kreosotal ist der Kohlensäureester des Kreosots und bildet eine fast farblose, dicke, fast geruchlose, schwach bitter schmeckende Flüssigkeit.

Pyrogallolum ist Pyrogallol $C_6H_3(OH)_3$ [1, 2, 3]. Wird hauptsächlich in der Dermatologie gebraucht.

Benzaldehyd, $C_6H_5.COH$. Verlangt wird ein chlor- und blausäurefreies Präparat. Findet nur als Geruchs- und Geschmackscorrigens Anwendung.

Hypnon ist Acetophenon $C_6H_5.CO.CH_3$. Wenig gebrauchtes Schlafmittel.

Acidum benzoicum, Benzoesäure. Offizinell ist nicht das chemisch reine Präparat $C_6H_5.COOH$, sondern eine durch Sublimation aus Siam-Benzoe gewonnenes Produkt, das eine mit empyreumatischen Stoffen durchsetzte Benzoesäure darstellt. Die offizinelle Benzoesäure färbt sich beim Aufbewahren bräunlich gelb und riecht nach Benzoe und zugleich schwach brenzlich. Sie soll frei sein von Zimmtsäure. Wird als Expectorans verwendet.

Balsamum peruvianum, Perubalsam, ist eine dunkelbraune dicke Flüssigkeit von eigenartigem, vanilleähnlichem Geruch und kratzendem, schwach bitterem Geschmack. Neben Harzen von saurem Charakter enthält Perubalsam als wirksamen Bestandteil mindestens 56% sogenanntes Cinnamein, eine ölige Flüssigkeit, die aus einem Gemisch von Benzoesäure- und Zimmtsäurebenzylester besteht. Wird hauptsächlich äußerlich bei parasitären Hautkrankheiten angewandt.

Balsamum tolutanum, Tolubalsam, ist eine bräunliche, kristallinische Masse von würzigem Geruch und schwach kratzendem Geschmack. Enthält viel Harz, daneben freie Benzoe- und Zimmtsäure und die Benzylester dieser Säuren.

Balsamum Copaivae, Copaivabalsam, ist eine dickliche, gelbbräunliche, bisweilen schwach fluoreszierende Flüssigkeit von eigenartigem Geruch und scharfem, schwach bitterem Geschmack. Zur arzneilichen Verwendung gelangt der sogenannte Maracaibobalsam. Das Produkt ist eine Lösung von Harz in einem eigenartigen ätherischen Oel und findet besonders bei Harnleiden Anwendung.

Hetol ist synthetisches zimmtsaures Natrium. Wird intravenös gegen Tuberkulose gebraucht.

Acidum salicylicum ist chemisch reine Salizylsäure. Sie findet in freiem Zustande als Natriumsalz und in zahlreichen Derivaten eine ausgedehnte arzneiliche Anwendung.

Natrium salicylicum, Natriumsali-

Digitized by Google

cylat, $C_6H_4\langle^{COO.Na}_{OH}$, [1, 2] bildet weiße geruchlose, in Wasser leicht lösliche Schüppchen von süßsalzigem Geschmacke.

Bismutum subsalicylicum ist ein basisches Wismutsalicylat mit einem Gehalt von 56,4% Bi. Es bildet ein weißes, geruch- und geschmackloses, in Wasser unlösliches Pulver.

Phenylum salicylicum, Salol, $C_6H_4(OH)COOC_6H_5$ bildet ein weißes kristallinisches Pulver von aromatischem Geruch und Geschmack. Es ist in Wasser unlöslich und schmilzt gegen 42°. Findet besonders als Harndesinfiziens Verwendung.

Saliformin ist salicylsaures Hexamethylentetramin, ein weißes, in Wasser lösliches kristallinisches Pulver, das bei Erkrankungen der Harnwege Anwendung findet.

Salophen ist Acetylparaamidosalol $C_6H_4(OH)COOC_6H_4.NH.COCH_3$. Weiße, in Wasser unlösliche, geschmack- und geruchlose Blättchen vom Schmelzpunkt 187 bis 188°. Dient als Antipyretikum, Antineuralgikum und Antirheumatikum.

Acidum acetylo-salicylicum, Acetylsalicylsäure, Aspirin $C_6H_4\langle^{COOH}_{O.COCH_3}$. Zerfällt leicht in Salicylsäure und Essigsäure. Das Präparat bildet weiße geruchlose, sauer reagierende und schmeckende Kristalle vom Schmelzpunkt ca. 135° und ist in Wasser schwer löslich. Es hat vor der freien Salicylsäure bezw. dem Natriumsalicylat den Vorzug, daß es den Magen weniger angreift.

Hydropyrin ist im wesentlichen das Lithiumsalz der Acetylsalicylsäure. Das Präparat ist in Wasser löslich.

Novaspirin ist der Methylenzitronensäureester der Salicylsäure; ein weißes Kristallpulver, das säuerlich schmeckt und in Wasser fast unlöslich ist.

Diaspirin ist der Bernsteinsäureester der Salicylsäure; bildet weiße Nadeln vom Schmelzpunkt 176 bis 178°.

Diplosal ist Salicylo-salicylsäure

$$C_6H_4\langle^{CO.OC_6H_4.COOH}_{OH},$$

auch 107prozentige Salicylsäure genannt. Bildet weiße, in Wasser fast unlösliche Kristalle von schwach bitterem Geschmack und dem Schmelzpunkt 147°.

Hydrargyrum salicylicum, Mercurisalicylsäure, $C_6H_3\begin{cases}OH\\CO.O\\Hg\end{cases}$ (CO.O und Hg verbunden). Das offizinelle Präparat enthält annähernd 92% Mercurisalicylsäure. Es bildet ein weißes, geruch- und geschmackloses Pulver, das in Wasser fast unlöslich ist. Wird innerlich gegen Lues gegeben, häufiger (in Paraffin suspendiert) intramuskulär injiziert.

Acidum gallicum, Gallussäure, $C_6H_2(OH)_3.COOH$ [1, 2, 3, 5]. H_2O bildet farblose oder schwach gelbliche Nadeln, die in 85 Teilen Wasser und in 6 Teilen Weingeist löslich sind. Wird ähnlich wie Gerbsäure angewandt.

Bismutum subgallicum, Dermatol, ist ein basisches Wismutgallat mit einem Gehalt von 46,6% Bi. Es bildet ein zitronengelbes, geruch- und geschmackloses, in Wasser unlösliches, amorphes Pulver. Dient besonders äußerlich als Streupulver.

Acidum tannicum, Gerbsäure, Tannin. Offizinell ist die aus Galläpfeln gewonnene Gerbsäure. Sie bildet ein weißes oder schwach gelbliches leichtes Pulver. Die wässerige Lösung reagiert sauer, riecht eigenartig und schmeckt zusammenziehend. Das Präparat soll höchstens 12% Feuchtigkeit und 0,2% Asche enthalten. Das Tannin dient als Adstringens. Zur innerlichen Anwendung gelangen indessen hauptsächlich Tannin-derivate.

Tannalbin ist ein durch Erhitzen einer Eiweiß-Gerbsäureverbindung auf 110° bis 120° gewonnenes Präparat mit einem Gehalt von ungefähr 50% Gerbsäure. Es bildet ein bräunliches, amorphes, geruch- und geschmackloses Pulver, das in Wasser und Weingeist nur sehr wenig löslich ist. Wird innerlich als Darmadstringens gegeben. Das Präparat passiert den Magen nahezu unzersetzt, so daß die Wirkung des Tannins erst im Darm eintritt.

Tannigen ist im wesentlichen ein Gemisch von Diacetyl- und Triacetyltannin. Es ist ein grauweißes oder gelblichweißes, fast geschmack- und geruchloses Pulver. In Wasser ist es schwer, in Alkalien leicht löslich. Dient als Darmadstringens. Vor dem Tannin hat es den Vorzug, daß es den Magen nicht belästigt, da die Abspaltung von Tannin im wesentlichen erst im Darm erfolgt.

Tannoform, Methylenditannin, ist ein durch Einwirkung von Formaldehyd auf Tannin gewonnenes Präparat. Es bildet ein schwach rötlichbraunes, geruch- und geschmackloses Pulver, das in Wasser unlöslich ist, sich in Alkalien aber leicht löst. Gegen 230° schmilzt es unter Zersetzung. Findet innerlich als Darmadstringens Anwendung, wird auch äußerlich viel gebraucht.

Zincum sulfocarbolicum ist das Zinksalz der p-Phenolsulfosäure $[C_6H_4(OH)SO_3]_2Zn.7H_2O$. Es bildet farblose, an der Luft verwitternde Kristalle, welche in Wasser mit schwach saurer Reaktion löslich sind und ähnlich wie Zinksulfat therapeutische Anwendung finden.

Sozojodolsäure ist Dijodparaphenol-

Digitized by Google

sulfosäure, $C_6H_2J_2(OH)SO_3H$. Das Kalium-, Natrium-, Lithium-, Quecksilber- und Zinksalz sind zur Anwendung, besonders in der Dermatologie empfohlen worden.

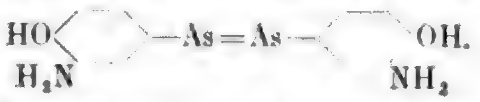
Natrium arsanilicum, p-aminophenylarsinsaures Natrium, Atoxyl, entspricht der Formel $C_6H_4\begin{smallmatrix}NH_2\\AsO_3HNa\end{smallmatrix}[1,4].4H_2O$. Es soll 24,1 bis 24,6% Arsen enthalten. Es bildet ein weißes, kristallinisches, geruchloses Pulver, das in Wasser löslich ist. Das gleiche Präparat wurde früher für Metarsensäureanilid gehalten, bevor die Konstitution richtig erkannt war. Atoxyl ist sehr viel weniger giftig als arsenige Säure. Es findet bei gewissen Infektionskrankheiten, die von tierischen Parasiten (Trypanosomen) hervorgerufen werden, z. B. der Schlafkrankheit, Anwendung.

Natrium acetylarsanilicum, Acetyl-p-aminophenylarsinsaures Natrium, Arsacetin, hat die Formel

$$C_6H_4\begin{smallmatrix}NH.COCH_3\\AsO_3HNa\end{smallmatrix}[1,4].4H_2O$$

und soll 21,2 bis 21,7% Arsen enthalten. Es bildet ein weißes, kristallinisches, in Wasser mit schwach saurer Reaktion lösliches Pulver. Die Anwendung ist ähnlich wie die des Atoxyls.

Salvarsan, Ehrlich-Hata 606, ist das Dichlorhydrat des Dioxydiaminoarsenobenzols



Das Präparat enthält das Arsen in der dreiwertigen Form, nicht wie Atoxyl und Arsacetin in der fünfwertigen. Es bildet ein gelbes, in Wasser mit saurer Reaktion lösliches Pulver, das infolge seiner Zersetzlichkeit in zugeschmolzenen, mit einem indifferenten Gase gefüllten Glasröhrchen von meist 0,6 g Inhalt in den Handel kommt. Wird gegen Syphilis injiziert.

Phenolphthalein ist die reine Verbindung $C_{20}H_{14}O_4$, die bei ungefähr 260° schmilzt. Wird seit einigen Jahren als Abführmittel unter dem Namen Purgen viel gebraucht.

Naphthalinum ist reines Naphthalin $C_{10}H_8$. Es findet besonders in der Tierheilkunde gegen Darmkatarrh und gegen parasitäre Hautaffektionen Verwendung.

Naphtholum ist β-Naphthol. Es bildet ein weißes kristallinisches Pulver, riecht schwach phenolartig und schmeckt brennend scharf. Es ist in Wasser schwer löslich und schmilzt bei 122°. Es findet in Form von Salben gegen Hauterkrankungen Anwendung.

Chrysarobin ist die durch Umkristallisieren aus Benzol gereinigte Ausscheidung aus den Höhlungen der Stämme des in Brasilien heimischen Baumes Andira araroba. Chrysarobin bildet ein gelbes, kristallinisches Pulver und findet in Form von Salben bei Hautkrankheiten Anwendung.

2c) Terpen- und Kampferderivate.

Camphora, Kampfer, ist der natürliche, rechtsdrehende Kampfer. Er bildet farblose, kristallinische, mürbe Stücke, von eigenartigem Geruch und brennend scharfem, etwas bitterem, hinterher kühlendem Geschmack. Wird innerlich und subkutan bei Herzschwäche, äußerlich als leichtes Reizmittel in Form von Campherspiritus angewandt.

Acidum camphoricum. $C_8H_{14}(COOH)_2$ ist die rechtsdrehende Form der Kamphersäure vom Schmelzpunkt 186°. Sie ist in Wasser schwer löslich und bildet weiße, geruchlose Kristallblättchen.

Bornyval ist der Isovaleriansäureester des Borneols, $C_{10}H_{17}O.C_5H_9O$, und bildet eine farblose, eigenartig riechende und schmeckende, in Wasser unlösliche Flüssigkeit.

Mentholum ist reines natürliches Menthol $C_{10}H_{19}(OH)$ vom Schmelzpunkt 44°. Riecht und schmeckt pfefferminzähnlich.

Validol ist im wesentlichen der Isovaleriansäureester des Menthols und wird als Analeptikum und Antinervosum gebraucht.

Forman, bekanntes Schnupfenmittel, ist Chlormethylmenthyläther, $C_{10}H_{19}O.CH_2Cl$. Bildet eine farblose Flüssigkeit, die unter dem Einfluß von Feuchtigkeit allmählich zerfällt in Formaldehyd, Menthol und Salzsäure.

Terpinum hydratum ist Terpinhydrat $C_{10}H_{20}O_2.H_2O$. Es bildet weiße, geruchlose, schwach würzig und bitter schmeckende Kristalle. Wird bei Erkrankungen der Atmungsorgane innerlich gegeben.

Cautschuc. Offizinell ist gereinigter, nicht vulkanisierter Parakautschuk. Dient nur als Zusatz zu Pflastermassen.

2d) Heterocyklische Verbindungen.

Jodol ist Tetrajodpyrrol, C_4J_4NH. Es bildet ein braunes, in Wasser unlösliches Pulver und findet als Jodoformersatz Anwendung.

Antipyrin, Pyrazolonum phenyldimethylicum, Phenyldimethylpyrazolon, ist die reine chemische Verbindung

$$C_6H_5.N\begin{smallmatrix}N(CH_3).C.CH_3\\ \| \\ CO \text{———} CH\end{smallmatrix}$$

Antipyrin bildet farblose Kristalle von kaum wahrnehmbarem Geruche und schwach bitterem Geschmacke. Es löst sich leicht in Wasser und schmilzt bei 110 bis 112°. Vielgebrauchtes Antipyretikum und Antineuralgikum.

Salipyrin, salicylsaures Antipyrin, Pyrazolonum phenyldimethylicum salicylicum, entspricht der Formel $C_{11}H_{12}ON_2.C_7H_6O_3$. Es

Digitized by Google

bildet ein weißes, kristallinisches, in Wasser schwer lösliches Pulver von schwach süßlichem Geschmack. Schmelzpunkt 91 bis 92°. Findet als Antirheumatikum und Antipyretikum Anwendung.

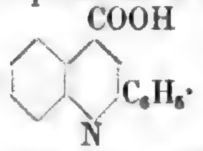
Pyramidon, Dimethylamino-antipyrin, Pyrazolonum dimethylaminophenyldimethylicum, ist die chemische Verbindung

$$C_6H_5.N\begin{cases} N(CH_3).C.CH_3 \\ \quad\quad\quad\quad \| \\ CO\text{——}C.N(CH_3)_2 \end{cases}$$

vom Schmelzpunkt 108°. Es bildet farb- und geschmacklose Kristalle die sich in Wasser mit schwach alkalischer Reaktion auflösen. Wirkt ähnlich wie Antipyrin, aber schon in kleinerer Dosis.

Piperazin, Diäthylendiamin, ist die chemische Verbindung $NH\begin{cases} CH_2\text{—}CH_2 \\ CH_2\text{—}CH_2 \end{cases}NH$. Es bildet farblose, hygroskopische Kristalle vom Schmelzpunkt 104 bis 107° und findet als harnsäurelösendes Mittel bei Gicht Anwendung.

Atophan ist 2 Phenyl-4-chinolincarbonsäure



Bildet Kristalle vom Schmelzpunkt ca. 210°, die bitter schmecken und in Wasser unlöslich sind. Wird bei Gicht und Gelenkrheumatismus innerlich gegeben.

2e) Alkaloide und verwandte Verbindungen. — Veratrinum, Veratrin, ein giftiges Alkaloid, das gewöhnlich aus Sabadillsamen dargestellt wird. Das offizinelle Veratrin bildet ein weißes, lockeres, heftig zum Niesen reizendes, amorphes Pulver. In Wasser ist es nur wenig löslich, die Lösung reagiert schwach alkalisch und schmeckt scharf. Das Veratrin ist kein einheitlicher Stoff, sondern ein Gemisch mehrerer Alkaloide. Wird fast nur äußerlich in Form von spirituösen Einreibungen bei Neuralgien gebraucht. In der Tierheilkunde findet es eine ziemlich umfangreiche Anwendung.

Colchicin ist das giftige Alkaloid der Herbstzeitlose. Es bildet eine amorphe hellgelbe Masse, schmeckt bitter und findet gegen Gicht Anwendung.

Hydrastininum hydrochloricum ist das salzsaure Salz des aus dem Alkaloid Hydrastin durch oxydative Spaltung gewonnenen Hydrastinins. Es bildet schwach gelbliche Kristalle von bitterem Geschmack, die sich in Wasser mit blauer Fluoreszenz auflösen. Es besitzt die Formel $C_{11}H_{12}O_2NCl$ und wird in der Gynäkologie, besonders gegen Gebärmutterblutungen gebraucht. — Wird auch synthetisch hergestellt.

Morphinum hydrochloricum, Morphinhydrochlorid. Das Morphin ist das wichtigste Alkaloid des Opiums, des getrockneten Milchsaftes der unreifen Mohnkapseln. Das offizinelle Opium, das in Kleinasien durch Anschneiden der unreifen Früchte und freiwilliges Eintrocknen des austretenden Milchsaftes gewonnen wird, enthält mindestens 12% Morphin; gepulvertes Opium wird durch Vermischen mit Reisstärke auf einen Gehalt von 10% Morphin eingestellt.

Von den Salzen des Morphins findet hauptsächlich das salzsaure Anwendung, das die Zusammensetzung $C_{17}H_{19}O_3N.HCl.3H_2O$ hat. Es bildet weiße seidenglänzende Kristallnadeln, schmeckt bitter und löst sich in 25 Teilen Wasser auf. Häufig ist das Salz in Form von Würfeln von 1 bis 2 cm Kantenlänge im Handel. Bei 100° soll es nicht mehr als 14,4% Kristallwasser verlieren.

Diacetylmorphinum hydrochloricum, Heroinhydrochlorid, ist ein synthetisch durch Acetylierung des Morphins gewonnenes Morphinderivat. Es besitzt die Formel $C_{17}H_{17}ON(O.CO.CH_3)_2.HCl$ und schmilzt bei etwa 230°. Es ist ein weißes, kristallinisches, in Wasser mit saurer Reaktion lösliches, bitter schmeckendes Kristallpulver. Es wirkt dem Morphin ähnlich, doch tritt die beruhigende Wirkung auf die Atmung stärker hervor. Es ist erheblich giftiger als Morphin.

Apomorphinum hydrochloricum, Apomorphinhydrochlorid besitzt die Zusammensetzung $C_{17}H_{17}O_2N.HCl.\frac{1}{2}H_2O$. Apomorphin wird aus Morphin durch Einwirkung wasserentziehender Mittel gewonnen. Das salzsaure Salz bildet weiße oder grauweiße, in Aether und Chloroform fast unlösliche, in etwa 50 Teilen Wasser lösliche Kriställchen. An feuchter Luft, besonders unter Mitwirkung des Lichtes, färbt sich das Salz infolge Zersetzung bald grün. Apomorphin zeigt nicht mehr die narkotische Wirkung des Morphins, sondern eine brechenerregende, die auch bei subkutaner Anwendung eintritt. Wird auch als Expectorans gebraucht.

Codeinum phosphoricum, Kodeinphosphat, $C_{17}H_{17}NO(OH)(OCH_3).H_3PO_4.2H_2O$. Das Kodein ist ein aus dem Opium gewonnenes Alkaloid, das seiner chemischen Natur nach ein Methyläther des Morphins ist. Von den Salzen findet besonders das Phosphat wegen seiner leichten Löslichkeit Anwendung. Es bildet weiße, bitter schmeckende Kristalle, die sich in Wasser mit schwach saurer Reaktion leicht auflösen. Es wirkt ähnlich, aber schwächer als Morphin. Es findet hauptsächlich als Hustenmittel Anwendung.

Aethylmorphinum hydrochloricum, Dionin, ist das salzsaure Salz des synthetisch gewonnenen Aethyläthers des Morphins. Es bildet weiße, bitter schmeckende, in Wasser lösliche Kristallnadeln, die bei 119° sintern und bei 122 bis 123° schmelzen. Wirkt ähnlich wie Kodein, aber stärker. Es dient als Hustenlinderungsmittel.

Pilocarpinum hydrochloricum ist das salzsaure Salz des Alkaloids Pilocarpin von der Formel $C_{11}H_{16}O_2N_2.HCl$. Es bildet weiße, hygroskopische, schwach bitter schmeckende Kristalle, die gegen 200° schmelzen. Regt die Schweißsekretion an und wird auch in der Augenheilkunde gebraucht.

Cocainum hydrochloricum ist das salzsaure Salz des Alkaloids Kokain von der Formel $HCl.N(CH_3)C_7H_{10}\begin{matrix}O.CO.C_6H_5\\ CO.OCH_3\end{matrix}$ und dem Schmelzpunkt 183°. Es bildet farblose, in Wasser mit neutraler Reaktion leicht lösliche Kristalle. Die Lösung schmeckt bitter und ruft auf der Zunge eine vorübergehende Unempfindlichkeit hervor. Das Präparat soll frei sein von Cinnamylecgonin. Dient hauptsächlich als Lokalanästhetikum, häufig kombiniert mit Adrenalin. Von synthetischen Kokainersatzmitteln, die meist weniger giftig sind, seien die folgenden angeführt; sie enthalten sämtlich, wie das Kokain selbst, die Benzoylgruppe:

Tropacocainum hydrochloricum ist das salzsaure Salz des synthetisch herstellbaren Benzoyl-ψ-tropins. Es bildet weiße, bei 271° unter Zersetzung schmelzende Kristalle, die in Wasser mit neutraler Reaktion leicht löslich sind.

Eucain B, Trimethylbenzoxypiperidinum hydrochloricum, $(CH_3)_3.C_5H_7N.(O.CO.C_6H_5).HCl$, bildet ein weißes kristallinisches Pulver, das in Wasser mit neutraler Reaktion löslich ist und schwach bitter schmeckt.

Anaesthesin ist p-Aminobenzoesäureäthylester $C_6H_4\begin{matrix}NH_2\\ COOC_2H_5\end{matrix}$ [1, 4]. Ein weißes, kristallinisches, in Wasser schwer lösliches, schwach bitter schmeckendes Pulver. Schmelzpunkt 90 bis 91°.

Novocain ist p-Aminobenzoyl-diäthylamino-äthanolhydrochlorid, $NH_2.C_6H_4.CO.OC_2H_4.N(C_2H_5)_2.HCl$[1,4]. Es bildet weiße Nädelchen von schwach bitterem Geschmack, die auf der Zunge eine vorübergehende Unempfindlichkeit hervorrufen. Es ist in Wasser mit neutraler Reaktion löslich und schmilzt bei 156°.

Stovain, Benzoyläthyldimethylaminopropanolhydrochlorid von der Formel

$$\begin{array}{c} C_2H_5 \\ | \\ CH_3.C.CH_2.N(CH_3)_2.HCl \\ | \\ O.CO.C_6H_5 \end{array}$$

bildet ein weißes, in Wasser mit saurer Reaktion leicht lösliches Pulver. Es ruft, ähnlich wie Kokain, auf der Zunge Unempfindlichkeit hervor. Schmelzpunkt 175°.

Physostigminum salicylicum $C_{15}H_{21}O_2N_3.C_7H_6O_3$ ist das salizylsaure Salz des Physostigmins (Eserins), des giftigen Alkaloids der Calabarbohne. Es bildet weiße, in Wasser lösliche Kristalle vom Schmelzpunkt 180°. Wirkt auf die Pupille verengernd. Wird in der Tierheilkunde bei Kolik der Pferde ziemlich häufig verwendet. Auch das hygroskopische Physostigminsulfat ist offizinell.

Atropinum sulfuricum, Atropinsulfat, $(C_{17}H_{23}O_3N)_2.H_2SO_4.H_2O$ bildet ein weißes, kristallinisches, in Wasser lösliches Pulver. Die Lösung reagiert neutral und schmeckt bitter und nachhaltig kratzend. Das aus dem Salz durch Ammoniak abgeschiedene freie Atropin muß bei 115,5° schmelzen. Atropin, das Alkaloid der Tollkirsche, wird innerlich zu verschiedenen Zwecken gegeben. Besonders wichtig ist es für die Augenheilkunde wegen seiner die Pupillen erweiternden Wirkung.

Homatropinum hydrobromicum ist das bromwasserstoffsaure Salz des Mandelsäureesters des Tropins, der synthetisch aus Mandelsäure und Tropin, einem Spaltprodukte des Atropins, hergestellt wird. Wirkt pupillenerweiternd.

Scopolaminum hydrobromicum, auch Hyoscinum hydrobromicum genannt, bildet weiße, sehr giftige, in Wasser zu einer schwach sauer reagierenden, bitter und kratzend schmeckenden Flüssigkeit lösliche Kristalle der Zusammensetzung $C_{17}H_{21}O_4N.HBr.3H_2O$. Das wasserfreie Salz schmilzt gegen 190°, seine Lösungen sind optisch linksdrehend. Scopolamin wirkt ähnlich wie Atropin, dient außerdem als Nervenberuhigungsmittel und Schlafmittel bei Geisteskranken.

Strychninum nitricum ist das salpetersaure Salz des giftigen Alkaloids Strychnin, das sich zusammen mit Brucin in den Samen von Strychnos, Nux vomica findet. Formel $C_{21}H_{22}O_2N_2.HNO_3$. Es bildet weiße, sehr bitter schmeckende Kristallnadeln, die in Wasser mit neutraler Reaktion löslich sind.

Chininum hydrochloricum ist salzsaures Chinin von der Formel $C_{20}H_{24}O_2N_2.HCl.2H_2O$. Es bildet weiße, sehr bitter schmeckende Kristallnadeln, die sich in Wasser mit neutraler Reaktion und ohne Fluoreszenz auflösen. Stark verdünnte Lösungen des Salzes fluoreszieren schwach blau. Das Salz enthält 81,72% Chinin. Es soll nicht mehr als 9,1% Kristallwasser enthalten und möglichst frei sein von anderen Chinaalkaloiden (Cinchonin, Cinchonidin, Chinidin). Chinin und seine Salze dienen als Spezifikum gegen Malaria. Die Anwendung als Antipyretikum ist durch die zahlreichen synthetischen Arzneimittel dieser Klasse einigermaßen zurückgedrängt.

Chininum sulfuricum, Chininsulfat

$(C_{20}H_{24}O_2N_2)_2.H_2SO_4.8\,H_2O$ darf bis 1% Nebenalkaloide der Chinarinde enthalten. Der Gehalt an Chinin betrage mindestens 72,1%, der Gehalt an Kristallwasser höchstens 16,2%. Es bildet weiße, feine, leicht verwitternde Kristallnadeln, die in kaltem Wasser schwer löslich (1:800) sind und bitter schmecken.

Chininum bisulfuricum, Chininbisulfat, $C_{20}H_{24}O_2N_2.SO_4H_2.7\,H_2O$ löst sich schon in 11 Teilen Wasser mit saurer Reaktion zu einer stark blau fluoreszierenden Flüssigkeit auf.

Chininum tannicum, Chinintannat, ist ein gelblichweißes, amorphes Pulver, das nur sehr schwach bitter schmeckt und in Wasser sehr wenig löslich ist. Der Chiningehalt beträgt 30 bis 32%.

Chininum ferro-citricum, Eisenchinincitrat, ist ein Präparat, das 9 bis 10% Chinin und 21% Eisen an Zitronensäure gebunden enthält. Das Eisen ist teils in der Ferro- teils in der Ferriform vorhanden. Eisenchinincitrat bildet glänzende, durchscheinende rotbraune Blättchen. Es löst sich in Wasser zu einer eisenartig und bitter schmeckenden Flüssigkeit.

Coffeinum, Koffein, bildet weiße, glänzende, biegsame Nadeln, die ein Molekül Kristallwasser enthalten. Es löst sich in Wasser mit neutraler Reaktion zu einer bitter schmeckenden Flüssigkeit auf. Beim Erhitzen muß es sich ohne Verkohlung verflüchtigen. Schmelzpunkt 234 bis 235°.

Coffeinum natrio-salicylicum ist ein durch Eindampfen einer Lösung von 5 Teilen Koffein, 6 Teilen Natriumsalicylat und 20 Teilen Wasser hergestelltes Präparat. Es bildet ein weißes, in Wasser leicht lösliches amorphes Pulver mit einem Koffeingehalt von 43,8%.

Theobrominum natrio-salicylicum, Theobrominnatriumsalicylat, ist eine Doppelverbindung von Theobrominnatrium mit Natriumsalicylat. Es enthält annähernd 45% Theobromin und bildet ein weißes, süßsalzig und etwas laugenhaft schmeckendes, in Wasser mit alkalischer Reaktion leicht lösliches Pulver. Das Präparat wird schon durch Kohlensäure unter Abscheidung von Theobromin und Bildung von Natriumcarbonat zersetzt. Findet als Diuretikum Anwendung.

Theobrominum natrio-aceticum, Agurin, ist ein Doppelsalz aus Theobrominnatrium und Natriumacetat. Dem Diuretin in Eigenschaften und Anwendung ähnlich.

Theophyllinum, Theocin, bildet feine, schwach bitter schmeckende Nadeln vom Schmelzpunkt 264 bis 265°. Chemisch ist es reines, mit 1 Mol Wasser kristallisiertes 1,3-Dimethylxanthin. Es ist isomer mit Theobromin und wirkt noch stärker diuretisch als dieses.

Suprareninum hydrochloricum, Adrenalin, Paranephrin, Epinephrin, Epirenan ist das salzsaure Salz des gefäßverengernden Bestandteils der Nebenniere. Chemisch o-Dioxyphenyläthanolmethylaminhydrochlorid: $(HO)_2.C_6H_3.CH_2(OH).CH_2.NH.CH_3.HCl$. Wird auch synthetisch dargestellt. Das Präparat kommt meist in Lösung in den Handel, auch in Form sterilisierter, mit einem Konservierungsmittel versetzter Lösungen. Rot oder trübe gewordene Lösungen dürfen nicht mehr verwendet werden.

2f) Bitterstoffe, Eiweißstoffe. — *Santoninum* ist der Bitterstoff $C_{15}H_{18}O_3$ der Wurmsamen. Es bildet farblose, bitter schmeckende, in Wasser sehr schwer lösliche Kristallblättchen, die am Lichte eine gelbe Farbe annehmen. Dient als wurmtreibendes Mittel, besonders bei Kindern.

Gelatina alba, weißer Leim. Zur pharmazeutischen Verwendung ist nur eine von Kupfer und schwefliger Säure freie, nicht mehr als 2% Asche hinterlassende Gelatine zulässig.

Argentum proteinicum, Albumosesilber, Protargol, ist eine Silbereiweißverbindung, die gegen Gonorrhöe und in der Augenheilkunde verwendet wird. Es bildet ein feines, braungelbes, in Wasser leicht lösliches Pulver. Die Lösung reagiert schwach alkalisch und darf durch Natriumchloridlösung nicht sogleich getrübt werden. Der Silbergehalt muß mindestens 8% betragen.

3. Galenische Präparate. *Acetum Sabadillae* ist ein Auszug von 5 Teilen Sabadillsamen mit einer Mischung von 5 Teilen Weingeist, 9 Teilen verdünnter Essigsäure und 36 Teilen Wasser. Eine gelbbraune Flüssigkeit; ist giftig und dient gegen Ungeziefer.

Acetum Scillae ist ein Auszug von Meerzwiebel mit einer Mischung von Spiritus, Essigsäure und Wasser. Wird als Diuretikum gebraucht.

Adeps benzoatus ist ein filtrierter, in der Wärme bereiteter Auszug von 1 Teil Benzoeharz mit 50 Teilen Schweineschmalz.

Aquae destillatae sind Lösungen oder Mischungen von flüchtigen Pflanzenstoffen und Wasser. Sie werden hergestellt aus den zerkleinerten, vorher mit Wasser oder Weingeist angefeuchteten Pflanzenteilen durch Destillation mit Wasserdampf. Sie besitzen den eigenartigen Geruch und Geschmack der flüchtigen Stoffe der Pflanzenteile, aus denen sie hergestellt sind. Derartige Wässer sind

Aqua Amygdalarum amararum, Bittermandelwasser,
Aqua Cinnamomi, Zimtwasser,
Aqua Foeniculi, Fenchelwasser,
Aqua Menthae piperitae, Pfefferminzwasser.

43*

Digitized by Google

Cerata, Cerate, sind Arzneizubereitungen zum äußeren Gebrauche, deren Grundmasse aus Wachs, Fett, Oel, Ceresin oder ähnlichen Stoffen besteht. Sie sind fest und werden bei gelindem Erwärmen flüssig.

Charta nitrata, Salpeterpapier, ist mit einer Salpeterlösung getränktes und wieder getrocknetes weißes Filtrierpapier. Dient als Räucherpapier bei Asthma.

Charta sinapisata, Senfpapier, ist mit gepulvertem, von fettem Oel befreitem, schwarzen Senf überzogenes Papier. 100 qcm müssen mit Wasser mindestens 0,0119 g Allylsenföl liefern.

Collemplastra sind Pflaster, die als wesentlichen Bestandteil Kautschuk enthalten. — Collemplastrum adhaesivum ist Kautschukheftpflaster.

Collodium cantharidatum ist ein mit einem ätherischen Auszug von spanischen Fliegen versetztes Collodium. Gelbgrüne Flüssigkeit, die auf der Haut zu einem grünen, zusammenhängenden Häutchen eintrocknet und Blasen zieht.

Collodium elasticum ist eine Mischung von 97 Teilen Collodium mit 3 Teilen Rizinusöl. Das beim Eintrocknen hinterbleibende Häutchen ist dehnbarer als das des gewöhnlichen Collodiums.

Elaeosacchara, Oelzucker, sind Mischungen von 1 Teil ätherischem Oel mit 50 Teilen Zucker.

Electuaria, Latwergen, sind brei- oder teigförmige, zum inneren Gebrauch bestimmte Arzneizubereitungen aus festen und flüssigen oder halbflüssigen Stoffen.

Electuarium e Senna, Sennalatwerge, ist eine grünlichbraune Mischung von 1 Teil fein gepulverten Sennesblättern, 4 Teilen Zuckersirup und 5 Teilen Tamarindenmus. Dient als Abführmittel.

Elixirum e Succo Liquiritiae ist eine braune Flüssigkeit, die aus Süßholzsaft, Fenchelwasser, Ammoniak, Anisöl und Weingeist besteht. Als Hustenmittel in Gebrauch.

Emplastra, Pflaster, sind zum äußeren Gebrauch bestimmte Arzneizubereitungen, deren Grundmasse aus Bleisalzen der in Oelen und Fetten vorkommenden Säuren, aus Fett, Oel, Wachs, Harz, Terpentin oder aus Mischungen einzelner dieser Stoffe besteht. Pflaster sind bei gewöhnlicher Temperatur fest und in der Hand knetbar.

Emplastrum Lithargyri, Bleipflaster, ist grauweiß bis gelblich. Besteht aus Bleisalzen der Fettsäuren des Erdnußöls und des Schweineschmalzes und dient als Grundlage für die Bereitung anderer Pflaster.

Emplastrum Lithargyri compositum, Gummipflaster, Zugpflaster, ist gelb bis bräunlich und wird durch Zusammenschmelzen von Bleipflaster mit Wachs, Terpentin und den Gummiharzen Ammoniacum und Galbanum bereitet.

Emplastrum adhaesivum, Heftpflaster, ist braungelb. Es wird durch Zusammenschmelzen von Bleipflaster mit Wachs und den die Klebkraft verleihenden Harzen Dammar, Kolophonium und Terpentin dargestellt.

Emplastrum Cantharidum, Spanischfliegenpflaster. Die verschiedenen Arten enthalten sämtlich gepulverte spanische Fliegen und besitzen infolgedessen stark reizende und blasenziehende Wirkung.

Emplastrum fuscum camphoratum ist braun und wird vielfach als Heilpflaster angewendet. Es wird durch Erhitzen von Mennige und Oel ohne Zusatz von Wasser bereitet und enthält Kampfer beigemischt.

Extracta, Extrakte, sind eingedickte Auszüge aus Pflanzenstoffen oder eingedickte Pflanzensäfte. Hinsichtlich ihrer Konsistenz unterscheidet man 1. dünne, die in ihrem Flüssigkeitsgrade dem frischen Honig gleichen, 2. dicke, die erkaltet sich nicht ausgießen lassen, 3. trockene, die sich zerreiben lassen. Die Anzahl der arzneilich verwendeten Pflanzenextrakte ist naturgemäß eine sehr große, die wichtigsten sind nachstehend erwähnt.

Extractum Belladonnae, Tollkirschenextrakt, ist ein dunkelbraunes, in Wasser fast klar lösliches, dickes Extrakt. Es enthält 1,5% Hyoscyamin und ist erforderlichenfalls durch Zusatz von gereinigtem Süßholzsaft auf diesen Gehalt zu verdünnen.

Extractum Hyoscyami, Bilsenkrautextrakt, ist ein dunkelbraunes und in Wasser nicht klar lösliches Extrakt mit einem Gehalte von 0,5% Hyoscyamin.

Extractum Chinae aquosum, wässeriges Chinaextrakt, ist ein dünnes, rotbraunes, in Wasser trüb lösliches, bitter und herb schmeckendes Extrakt mit einem Gehalt von mindestens 6,18% Chinaalkaloiden.

Extractum Chinae spirituosum, weingeistiges Chinaextrakt, ist ein trockenes, rotbraunes, in Wasser trüb lösliches, bitter schmeckendes Extrakt mit einem Gehalt von mindestens 12% Chinaalkaloiden.

Extractum Ferri pomati, eisenhaltiges Aepfelextrakt, wird aus reifen sauren Aepfeln unter Zusatz von Eisen bereitet. Es ist ein dickes, grünschwarzes, in Wasser lösliches Extrakt und enthält mindestens 5% Eisen.

Extractum Filicis, Farnextrakt, ist ein ätherisches, dünnes, grünes bis braungrünes Extrakt aus Farnwurzel. Es schmeckt widerlich und kratzend und ist ein vielgebrauchtes Bandwurmmittel.

Extractum Opii, Opiumextrakt ist ein wässeriges Extrakt aus Opium. Es ist ein

Digitized by Google

graubraunes, trockenes Extrakt und soll 20% Morphin enthalten.

Extractum Strychni, Brechnußextrakt, ist ein alkoholisches, zur Trockne eingedampftes Extrakt aus Strychnossamen. Es ist braun, schmeckt sehr bitter und enthält 16% Alkaloide (Strychnin und Brucin).

Extracta fluida, Fluidextrakte, sind flüssige Auszüge aus Pflanzenteilen, die so hergestellt sind, daß die Menge des Fluidextrakts gleich der Menge der verwendeten lufttrockenen Pflanzenteile ist. Die gebräuchlichsten Fluidextrakte sind nachstehend erwähnt.

Extractum Cascarae sagradae fluidum, Sagradafluidextrakt, ist dunkelrotbraun, stark bitter und wird als Abführmittel benutzt.

Extractum Condurango fluidum aus Kondurangorinde ist braun. Wird bei Magenleiden verwendet.

Extractum Hydrastis fluidum aus Hydrastisrhizom ist dunkelbraun und enthält mindestens 2,2% Hydrastin. Wird in der Gynäkologie gegen Gebärmutterblutungen gebraucht.

Liquor Ammonii anisatus ist eine Mischung von 1 Teil Anisöl, 24 Teilen Weingeist und 5 Teilen Ammoniakflüssigkeit. Häufig gebrauchtes Hustenmittel.

Liquor Cresoli saponatus, Kresolseifenlösung, ist eine 50% rohes Kresol enthaltende Mischung von Leinölkaliseife mit Kresol. Rotbraune, ölartige, alkalisch reagierende Flüssigkeit, die als Ersatz des Lysols zu Desinfektionszwecken dient.

Liquor Ferri albuminati ist eine aromatisierte Eisenalbuminatlösung mit 0,4% Eisen. Rotbraune, im auffallenden Lichte wenig trübe Flüssigkeit von ganz schwach alkalischer Reaktion.

Mucilagines, Schleime, sind dickflüssige, durch Lösen, Aufschütteln oder Ausziehen von Pflanzenstoffen mit kaltem oder heißem Wasser hergestellte Zubereitungen.

Oleum camphoratum und Oleum camphoratum forte sind Lösungen von Kampfer in der neunfachen bezw. vierfachen Menge Olivenöl. Die Präparate finden besonders zu Injektionen bei Herzschwäche Anwendung.

Oleum Hyoscyami, Bilsenkrautöl, ist ein Auszug von Bilsenkraut mit Oel.

Pulvis Ipecacuanhae opiatus, Dowersches Pulver, ist eine Mischung von 1 Teil Opium, 1 Teil Ipecacuanhawurzel und 8 Teilen Milchzucker. Als Hustenmittel in Gebrauch.

Pulvis Liquiritiae compositus, Brustpulver, ist eine Mischung von 10 Teilen Zucker, 3 Teilen Sennesblättern, 3 Teilen Süßholz, 2 Teilen Fenchel und 2 Teilen Schwefel. Wirkt abführend.

Sirupi, Sirupe, sind dickflüssige Lösungen von Zucker in wässerigen, weingeist- oder weinhaltigen Flüssigkeiten, meist Pflanzenauszügen. Sie dienen hauptsächlich als Geschmackskorrigentien.

Species sind Teegemische.

Spiritus aethereus, Hoffmannstropfen, ist eine Mischung von 1 Teil Aether und 3 Teilen Weingeist. Als excitierendes Hausmittel viel gebraucht.

Succus Liquiritiae, Süßholzsaft, ist das aus den unterirdischen Teilen der Glycyrrhiza glabra bereitete Extrakt. Er bildet schwarze Stangen, die in scharfkantige Stücke brechen und süß schmecken. Ein durch Ausziehen dieses Produktes mit kaltem Wasser und Eindampfen des Filtrats bereitetes Extrakt heißt Succus Liquiritiae depuratus.

Tincturae, Tinkturen, sind dünnflüssige Auszüge aus Pflanzen oder Tierstoffen. Tinkturen werden im allgemeinen in der Weise bereitet, daß 1 Teil der Droge mit 5 Teilen verdünntem Weingeist ausgezogen wird. Bei starkwirkenden Drogen verwendet man 10 Teile verdünnten Weingeist auf 1 Teil der Droge.

Tinctura Opii simplex, Opiumtinktur, enthält 1% Morphin. Sie wird durch Ausziehen von 15 Teilen Opium mit 70 Teilen verdünntem Weingeist und 70 Teilen Wasser bereitet.

Tinctura Opii benzoica, benzoesäurehaltige Opiumtinktur, besteht aus Opiumtinktur, Anisöl, Kampfer, Benzoesäure und verdünntem Weingeist. Morphingehalt 0,05%. Als Hustenmittel in Gebrauch.

Unguenta, Salben, sind Arzneimittel zu äußerem Gebrauche, deren Grundmasse in der Regel aus Fett, Oel, Lanolin, Vaselin, Ceresin, Glycerin, Wachs, Harz usw. besteht.

Unguentum Acidi borici, Borsalbe, ist eine Mischung von 1 Teil Borsäure und 9 Teilen weißem Vaselin.

Unguentum Zinci, Zinksalbe, besteht aus 1 Teil rohem Zinkoxyd und 9 Teilen Schweineschmalz.

Unguentum Hydrargyri album ist eine Mischung von 1 Teil weißem Quecksilberpräzipitat mit 9 Teilen weißem Vaselin.

Unguentum Hydrargyri rubrum besteht aus 1 Teil Quecksilberoxyd und 9 Teilen weißem Vaselin.

Unguentum Hydrargyri cinereum ist eine bläulichgraue Salbe die 30% metallisches Quecksilber in feinster Verteilung enthält.

Literatur. *Deutsches Arzneibuch.* — ***Anselmino-Gilg,*** *Kommentar zum Deutschen Arzneibuch.*

Digitized by Google

— E. Schmidt, Pharmazeutische Chemie. — Real-Enzyklopädie der gesamten Pharmazie, 2. Aufl.; Gehes Codex; Mercks Index; Riedels Mentor; ferner die periodische Fachliteratur.

C. Mannich.

Phasenlehre.

1. Geschichtliches. 2. Begriff der Phasen. Unabhängige Bestandteile. 3. Beweis der Phasenregel. 4. Einstoffsysteme. 5. Zweistoffsysteme. 6. Drei- und Mehrstoffsysteme. 7. Anmerkungen.

1. Geschichtliches. Die Phasenregel des Amerikaners J. Willard Gibbs ist ein aus den Prinzipien der Thermodynamik abgeleitetes Grundgesetz (1874 bis 1878) aller chemischen Gleichgewichtserscheinungen (vgl. den Artikel „Chemisches Gleichgewicht"). Die abstrakte Form, die Gibbs seinen Untersuchungen gab, erschwerte anfangs sehr ihre weitere Verbreitung. Durch H. W. Bakhuis Roozeboom wurde die Phasenregel zunächst (1887) in Holland bekannt, wo sie auch jetzt noch besonders gepflegt wird. In neuester Zeit werden jedoch in vielen anderen Ländern Arbeiten phasentheoretischer Art ausgeführt, neben den europäischen Ländern und den Vereinigten Staaten von Amerika zum Beispiel auch in Japan. Der Hauptwert der Phasenlehre liegt in ihrer allgemeinen Anwendbarkeit auf die verschiedensten Systeme.

2. Begriff der Phasen. Unabhängige Bestandteile. Die Phasenregel verbindet durch eine Gleichung die Zahl der in einem Systeme vorkommenden Phasen, unabhängigen Bestandteile, Konzentrationen und Freiheitsgrade miteinander. Diese Begriffe werden folgendermaßen erklärt: Phasen, im Sinne der Phasenlehre sind räumliche Zustände, also Aggregatszustände. Es gibt demnach feste, flüssige und gasförmige Phasen. Der Begriff „Phase" ist also hier ein ganz anderer als er sonst vielfach gebraucht wird, wobei man sich auf die Zeit bezieht. Die Kolloide haben auch einen gewissen Aggregatzustand. Bei ihrer eigentümlichen Form spielt aber die Oberflächenspannung eine große Rolle. Da diese bei der Ableitung der Phasenregel außer acht gelassen ist, gilt auch die Phasenregel, zum mindesten in ihrer gewöhnlichen Form, nicht für Kolloide. An festen Phasen kann in einem heterogenen System eine große Anzahl auftreten, an flüssigen Phasen höchstens zwei und an gasförmigen nur eine. Das Kennzeichen einer Phase ist ihre Homogenität. Jede Phase muß in ihrem mikroskopisch kleinsten Teile physikalisch und chemisch gleich sein. Eine Phase braucht nicht, wie z. B. eine chemische Verbindung, ein in seinen molekularen Dimensionen einheitlicher Körper zu sein. So stellt ein Gasgemisch, eine Lösung oder ein Mischkristall eine einzige Phase dar, da jede mikroskopisch kleine Luftblase, jeder kleine Flüssigkeitstropfen oder jeder winzig kleine Kristall genau gleiche Zusammensetzung hat. Wollte man aber bis auf die Größe der Moleküle hinuntergehen, so würde naturgemäß eine Verschiedenheit in der Zusammensetzung bestehen. Der Begriff der Phase ist also viel umfassender als der einer einheitlichen Verbindung, dadurch ist es auch möglich, Regeln für komplizierte Systeme (z. B. konzentrierte Lösungen) aufzustellen, was ohne Benutzung der Phasenregel kaum möglich ist.

Der zweite wichtige Begriff der Phasenlehre ist der der unabhängigen Bestandteile, nach Gibbs der Komponenten. Es sind das die Bestandteile, die in dem Systeme nicht durch Mischung anderer hergestellt werden können. Die Wahl der unabhängigen Bestandteile hat in doppelter Art zu erfolgen, erstens muß durch Veränderung ihrer Menge jede mögliche Aenderung in der Zusammensetzung der Phasen des betrachteten Systems ausgedrückt werden können, und zweitens müssen diese Aenderungen unabhängig voneinander sein. Es muß also die kleinstmögliche Anzahl der unabhängigen Bestandteile gewählt werden. In den meisten Fällen ist die Angabe der Zahl der Komponenten einfach. Bei allen Systemen zum Beispiel, die sich aus einem Salz und Wasser aufbauen, können die verschiedenen Phasen: Dampf, Lösung, feste Hydrate, das reine anhydrische Salz, durch Mischung von Wasser und Salz aufgebaut werden. Wasserstoff und Sauerstoff sind in jeder Phase derartig enthalten, daß ihre Mengen sich zu Wasser ergänzen, ähnlich ist es mit den Bestandteilen der verschiedenen Salze. In diesem Falle hat man zwei unabhängige Bestandteile: Wasser und Salz. Hier sind also chemische Verbindungen und nicht Elemente unabhängige Bestandteile. Kommen aber in einem Systeme chemische Verbindungen vor, die sich in ihre Elemente zerlegen, derart, daß die anwesenden Phasen diese in verschiedenem Verhältnis enthalten, so sind jetzt die Elemente die unabhängigen Bestandteile des Systems. Ein solches System ist zum Beispiel $H_2O + Cl_2$, bei höherer Temperatur kann eine Umsetzung eintreten: $2H_2O + 2Cl_2 = 4HCl + O_2$. Die möglichen Phasen (z. B. die Flüssigkeit) enthalten hier nicht mehr Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis H_2O. Es gibt daher jetzt drei unabhängige Bestandteile: Wasserstoff, Sauerstoff und Chlor. Das Folgende wird den Begriff des unabhängigen Bestandteiles noch klarer machen.

Digitized by Google

Die anderen Begriffe: Freiheitsgrade und Konzentrationen kommen bei der Ableitung der Phasenregel zur Besprechung.

3. **Beweis der Phasenregel.** Der Beweis der Phasenregel ist mit Hilfe der Thermodynamik zu führen, am leichtesten mit Hilfe des sogenannten thermodynamischen Potentials, der Z-Funktion.

Wenn: d Q die Wärmezufuhr (in Arbeitseinheiten), dE die Vermehrung der inneren Energie eines Systems, dV die Volumvergrößerung, dS die Vermehrung der Entropie, p der Druck, T die absolute Temperatur und Δ eine stets positive Größe (in Grenzfall Null) ist, so lauten die beiden Hauptsätze der Thermodynamik: $dQ = dE + p\,dV$ (1) und $dS = \frac{dQ}{T} + \Delta$ (2), woraus folgt: $TdS = dE + pdV + T\Delta$ (3). Bei konstanten Werten von E und V (also $dE = 0$ und $dV = 0$) ist demnach $dS_{(E,V)} = \Delta$. Die Entropieänderung eines Systems von konstantem Volumen und konstanter innerer Energie ist also stets positiv. Hat man daher eine Anzahl Körper in einem abgeschlossenen Volumen derart, daß weder von diesen nach außen, noch von außen nach innen, Energieänderungen stattfinden, so wird bei chemischen oder physikalischen Aenderungen des Systems die totale innere Entropie stets vermehrt. Hat sie ihren höchsten Wert erreicht, so wird durch eine etwaige virtuell eintretende Aenderung keine Vermehrung der Entropie mehr stattfinden können: der Gleichgewichtszustand ist erreicht.

Für den Beweis der Phasenregel ist die Entropie weniger gut geeignet, sondern besser das von Gibbs eingeführte thermodynamische Potential: $Z = E - TS + pV$ (4). Durch Differentiation erhält man $dZ = dE - TdS - SdT + pdV + Vdp$ oder unter Benutzung von Gleichung (3): $dZ = -SdT + Vdp - T\Delta$ (5). Bei konstanter Temperatur und konstantem Druck ($dT = 0$ und $dp = 0$) ist also $dZ_{(T,p)} = -T\Delta$. Sind Temperatur und Druck gegeben, so kann ein Körperkomplex nur solche Aenderungen erleiden, daß das thermodynamische Potential abnimmt. Ist das Potential ein Minimum geworden, so herrscht Gleichgewicht. Ebenso wie ein System ein bestimmtes thermodynamisches Potential hat, hat auch jeder Körper für sich ein solches, das seinen inneren Zustand bestimmt. Desgleichen hat innerhalb einer einzelnen Phase jeder darin enthaltene unabhängige Bestandteil ein bestimmtes Potential.

Hat man ein System von P Phasen, so muß im Gleichgewicht das Potential eines bestimmten unabhängigen Bestandteiles in jeder Phase das gleiche sein, da bei Ungleichheit desselben in verschiedenen Phasen eine Umsetzung stattfinden könnte. Hierbei würde aber eine Verringerung des Gesamtpotentials eintreten, das System wäre also nicht, wie vorausgesetzt, im Gleichgewichte. Hat das System von P Phasen nun C unabhängige Bestandteile, die alle in jeder Phase vorkommen, so bedingt die Gleichheit des Potentials für jeden Bestandteil in den P Phasen (P—1) Gleichungen (das Potential einer Komponente ist eine Funktion von T, p und den in den verschiedenen Phasen verschiedenen Konzentrationen). Alle C-Komponenten ergeben demnach C(P—1) Gleichungen. Die Anzahl der veränderlichen Größen ist aber $2 + (C-1)P$, nämlich p,T und für jede der P Phasen (C—1) Konzentrationsbeziehungen. Die Differenz aus der Zahl der Veränderlichen und der Gleichungen, die diese bestimmen, nennt man den Freiheitsgrad (F) dieser ist also: $F = 2 + (C-1)P - C(P-1) = 2 + C - P$ oder $P + F = C + 2$; womit die Phasenregel bewiesen ist.

Aus vorstehendem folgt auch der wichtige Satz, daß das Phasengleichgewicht von der Menge der einzelnen Phasen unabhängig ist.

Die Einteilung der verschiedenen Systeme erfolgt am besten nach der Zahl der unabhängigen Bestandteile. Man unterscheidet: Ein-, Zwei-, Drei- und Mehrstoffsysteme, je nachdem $C = 1$, 2, 3, usw. ist. Ferner bezeichnet man, je nach dem Werte von $F = 0$, 1, 2 usw. die Systeme als invariant, monovariant, bivariant usw.

Von den Größen, die außer der Konzentration bei einem Systeme wichtig sind: innere Energie, Entropie, thermodynamisches Potential, Volumen, Temperatur und Druck sind nur die letzten drei ihren absoluten Werten nach anzugeben, während für die anderen nur die Aenderungen, nicht aber die absoluten Werte gemessen werden können. In den meisten Fällen beschränkt man sich deshalb darauf, die Beziehungen von Volumen, Temperatur und Druck neben (bei Zwei- und Mehrstoffsystemen) den Konzentrationen anzugeben, oft wird auch das Volumen als wenig wichtig nicht mit zur Darstellung gebracht.

4. **Einstoffsysteme.** In einem Einstoffsysteme ($C = 1$) lautet die Phasenregel $P + F = 3$. Für das invariante Gleichgewicht ($F = 0$) ist demnach $P = 3$. Jedes invariante Gleichgewicht, das also keine Freiheit mehr besitzt, ist ausgezeichnet durch konstante Werte. Der Punkt im Einstoffsystem, der ein invariantes Gleichgewicht darstellt, enthält drei Phasen und heißt deshalb Tripelpunkt. Zu ihm gehören ganz bestimmte Werte für Druck, Temperatur und Volumen der drei im Gleichgewicht befindlichen Phasen. In einem Diagramme, das Druck und Temperatur in Beziehung zueinander bringt, ist das invariante Gleichgewicht durch

Digitized by Google

einen Punkt (eben den Tripelpunkt), in einem Diagramm der Beziehungen zwischen Volumen und Temperatur durch eine Gerade angezeigt, auf der die konstanten Werte für die Volumina von fest, flüssig, gasförmig (bei derselben Temperatur) liegen.

Ein jeder ohne Zersetzung schmelzende einheitliche Stoff, chemisches Element oder chemische Verbindung, besitzt einen Tripelpunkt. Die Lage des Punktes im P,T-Diagramm (vgl. Fig. 1) gibt über das Verhalten des Körpers in bezug auf Druck und Temperatur Auskunft. Ist der Druck im Tripelpunkte größer als eine Atmosphäre, so kann man den Stoff nur unter Druck schmelzen (z. B. Arsen, Kohlensäure, Kohlenstoff), da nur bei dem höheren Tripelpunktsdruck das System fest-flüssig-gasförmig möglich ist. Bei gewöhnlichem Druck kennt man derartige Stoffe nur im festen und gasförmigen Zustande.

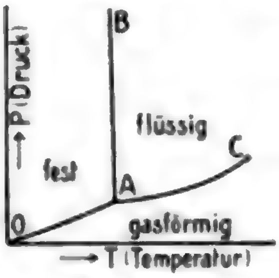


Fig. 1.

Durch Wärmezufuhr verwandelt sich unter Atmosphärendruck bei diesen Stoffen bei ganz bestimmter Temperatur die feste Phase in die gasförmige (Sublimation). Die Sublimationstemperatur ist niedriger als die des Tripelpunktes und sehr stark vom Drucke abhängig. Bei Druckerhöhung geht sie schließlich in die Temperatur des Tripelpunktes über (Kurve OA, Fig. 1). Ist der Druck im Tripelpunkt geringer als eine Atmosphäre, so schmilzt bei Atmosphärendruck der erwärmte feste Stoff bei bestimmter Temperatur (auf AB, Fig. 1) und findet ein Verdampfen des flüssigen bei Wärmezufuhr ebenfalls bei ganz bestimmter Temperatur (auf AC, Fig. 1), der Siedetemperatur, statt. Die Schmelztemperatur unter Atmosphärendruck weicht bei geringen Druckänderungen (auf AB, Fig. 1) nur wenig von der Temperatur des Tripelpunktes ab, kann aber geringer oder größer als diese sein. Die Siedetemperatur (auf AC, Fig. 1) ist stets höher als die des Tripelpunktes. Die Differenz ist um so geringer, je näher der Tripelpunktsdruck dem Drucke von einer Atmosphäre liegt. In solchen Fällen kann man durch Versuche bei Atmosphärendruck manchmal zu falschen Schlüssen über die Lage des Tripelpunktes kommen. So lassen sich z. B. Jod und Kampfer scheinbar bei Atmosphärendruck sublimieren, obwohl ihr Tripelpunktsdruck in Wirklichkeit geringer ist (91 mm für Jod, 354 mm für Kampfer). In diesen Fällen ist aber dadurch, daß der Dampf rasch genug weggeführt wird, der Partialdruck, bei dem die Sublimation stattfindet, tatsächlich geringer als der angegebene Tripelpunktsdruck — also auch geringer als eine Atmosphäre. Da man aber die Systeme Jod oder Kampfer als solche betrachtet, hat man auch den Druck, den sie wirklich haben, also ihren Partialdruck und nicht den Atmosphärendruck zu berücksichtigen.

Ist bei hochschmelzenden Metallen und anderen Körpern der Druck im Tripelpunkte sehr gering, so ist die Temperatur, bei der diese Stoffe bei Atmosphärendruck sieden (infolge der Lage vor AC, Fig. 1) derartig hoch, daß sie mit irdischen Mitteln nicht erreichbar ist. In sehr stark evakuierten Gefässen, wobei man sich also dem Tripelpunkt nähert, hat man aber auch solche Körper zum Sieden gebracht.

Hat man in Einstoffsystemen monovariante Gleichgewichte, also $F = 1$, so ist $P = 2$. Bei Anwesenheit von zwei Phasen hat man also noch eine Freiheit, d. h. innerhalb des Gebietes in dem überhaupt das Gleichgewicht zwischen den betreffenden beiden Phasen möglich ist, kann von den bestimmenden Faktoren (z. B. Druck, Temperatur, Volumen usw.) einer noch beliebig gewählt werden, erst dann sind alle Größen, die auf das Gleichgewicht Bezug haben, festgelegt. Von diesen monovarianten Gleichgewichten wurde der Uebergang der Sublimationskurve (fest-gasförmig) in den Tripelpunkt schon erwähnt (OA, Fig. 1). Der Anfang dieser Kurve liegt bei $P = 0$ und $T = 0$. Ein zweites monovariantes Gleichgewicht besteht zwischen fest und flüssig. Diese Schmelzkurve erstreckt sich vom Tripelpunkt steil nach oben, so daß der Schmelzpunkt beim Tripelpunkt (z. B. Eis $+ 0{,}0077^{\circ}$) wenig von dem bei Atmosphärendruck (0°) abweicht. Die Abweichung in positiver oder negativer Richtung ist bedingt vom Volumen des betreffenden Stoffes in festem und flüssigem Zustande. Ist das Volumen in festem Zustande größer als in flüssigem (z. B. Eis-Wasser), so sinkt die Schmelztemperatur mit wachsendem Druck. Bei vielen anderen Stoffen steigt aber die Schmelztemperatur mit dem Druck: das Volumen ist im festen Zustande geringer als im flüssigen, d. h. beim Erstarren sinken die festen Bestandteile in der Schmelze unter. Die Aenderung der Schmelztemperatur mit dem Druck ist aus der Wärmetönung und Volumänderung beim Schmelzen zu berechnen und zwar nach der Formel

$$T \frac{dp}{dT} = \frac{q}{v}$$

wobei q die Schmelzwärme und v die Volumenänderung beim Schmelzen ist. Die gleiche Formel beherrscht auch die anderen monovarianten Gleichgewichte, wobei dann q die Sublimationswärme oder Verdampfungs-

Digitized by Google

wärme ist, während v die bezügliche Volumänderung darstellt. Diese sogenannte Clausius-Clapeyronsche Gleichung ist leicht bei Benutzung des thermodynamischen Potentials abzuleiten. Bei jeder Temperatur des Gleichgewichtes fest-flüssig (oder fest-gasförmig und flüssig-gasförmig) muß das Potential von fest und von flüssig gleich sein. Seien Z und Z′ die beiden Potentiale, so ist $Z = Z'$. Dieses ist aber keine bestimmte Gleichung für die Veränderlichen p, T, V usw., da die genaue Gleichung der Potentiale nicht bekannt ist. Man erhält aber mit Hilfe der aus der Gleichung (5) $dZ = -SdT + Vdp - T\Delta$ folgenden Ableitungen $\frac{\partial Z}{\partial T} = -S$ und $\frac{\partial Z}{\partial p} = v$ eine Funktionsbeziehung zwischen dp und dT. Die Funktion $f(pT) = Z - Z' = 0$ ergibt zur Berechnung der Tangente $\frac{dp}{dT}$ die Gleichung $\frac{\partial f}{\partial T} dT + \frac{\partial f}{\partial p} dp = 0$. Und, da $dQ = dST$, schließlich $\frac{dp}{dT} = \frac{q}{T.v}$, wenn $q = Q - Q'$ die Schmelzwärme und $v = V - V'$ die Volumänderung ist.

Das dritte monovariante Gleichgewicht (flüssig-gasförmig) führt im P-T-Diagramm zu der Siedekurve. Auch diese beginnt im Tripelpunkt und endet in einem kritischen Punkte, in dem die Volumina, Drucke und Temperaturen von fest-flüssig gleich werden. Der Unterschied der beiden Phasen hört also auf.

Sämtliche Beziehungen zwischen den drei Variabeln Druck, Temperatur und Volumen lassen sich für einen bestimmten Körper in einer räumlichen Darstellung zusammenfassen. Hierbei lassen sich zwei Typen unterscheiden, die in den Figuren 2 und 3 wiedergegeben sind. In Bezug auf flüssig-gasförmig sind die Figuren gleich. Im Tripelpunkte, wo Temperatur und Druck konstant für alle drei Phasen sind, ist der Unterschied in den Volumina flüssig und gasförmig am größten. Die Figuren zeigen, wie sich im Gleichgewicht flüssig-gasförmig die Volumina einander nähern, um im kritischen Punkte gleich zu werden. Das Gebiet, das zu noch höheren Drucken und Temperaturen gehört, nennt man überkritisch oder fluid. Durch Druckerniedrigung gelangt man ohne plötzlichen Uebergang aus dem fluiden in das gasförmige Gebiet, durch Temperaturerniedrigung in das flüssige.

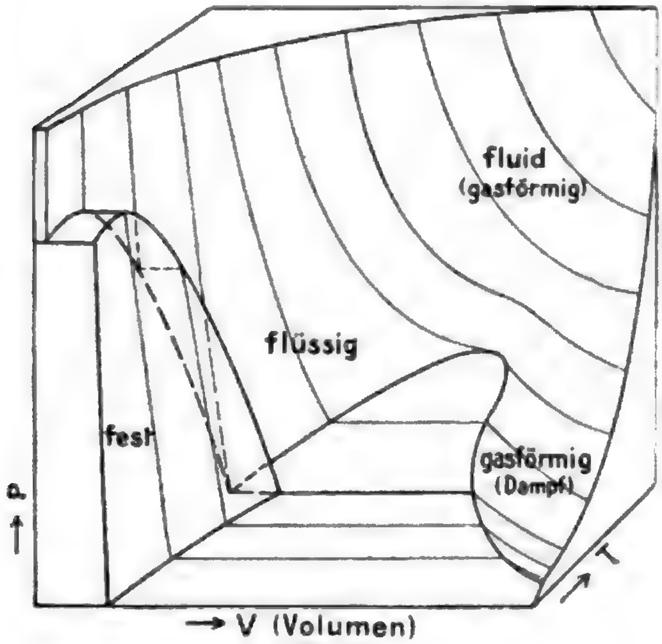


Fig. 2.

Im überkritischen Zustande befinden sich z. B. die Stoffe im Innern der Weltkörper, da hier Temperatur und Druck außerordentlich hoch sind.

Bivariante oder divariante Gleichgewichte ($F = 2$) gibt es bei einem System eines unabhängigen Bestandteiles entsprechend der Phasenregel bei Anwesenheit nur einer Phase. Infolge der doppelten Variabilität sind daher die Phasen fest, flüssig, gasförmig (und überkritisch) durch Flächen räumlich dargestellt, die von den Kurven für die monovarianten Gleichgewichte begrenzt sind.

Sind Stoffe unter Druck- und Temperaturverhältnisse gebracht, die ihren Aggregatzuständen nicht entsprechen (z. B. Wasser unter 0°), so befinden sie sich im labilen Zustande und das stabile Gleichgewicht stellt sich durch Impfung oder Erschütterung oft plötzlich ein.

Ueber den Verlauf der Schmelzkurve bei hohen Drucken und eine eventuelle Annahme eines kritischen Punktes fest-flüssig gingen die Ansichten bis vor kurzem auseinander. Diese Kurve, die nach der Formel $\frac{dp}{dT} = \frac{q}{T.v}$ von der Volumänderung beim Schmelzen und von der Wärmetönung fest-flüssig abhängt, sollte nach Ostwald bei Drucksteigerung, ähnlich der Kurve gasförmig-flüssig, bei einem anderen kritischen Punkt schließlich aufhören, indem beide Größen (Volumänderung und Wärmetönung) gleichzeitig zu Null würden. Tammann stellte dagegen die Hypothese auf, daß jede der beiden Größen für sich Null werden könnte. Dieses führte ihn dazu, für das feste Gebiet ein geschlossenes Flächenstück anzunehmen. Nach den neuesten Untersuchungen in dieser Hinsicht (van Laar) kann man dieses Problem dahin gelöst betrachten, daß beide Ansichten teilweise richtig sind. Besteht Volumvergrößerung beim Schmelzen so erhält man einen oberen kritischen Punkt (Fig. 3) wie ihn Ostwald vermutete, besteht Volumenverkleinerung so erhält man ein in bestimmter Art geschlosse-

Digitized by Google

nes Flächenstück für den festen Zustand. Außerdem gibt es noch Systeme mit einer anderen Art von kritischen Punkten, was weiter unten kurz erörtert werden soll.

Bei seinen Untersuchungen geht van Laar von der van der Waalsschen Zustandsgleichung aus. Er benutzt die Gleichung in der Form $(p+\frac{a}{v^2})(v-b)=(1+\beta)RT$, wobei β der Dissoziationsgrad von Doppelmolekülen ist. Mit Hilfe des thermodynamischen

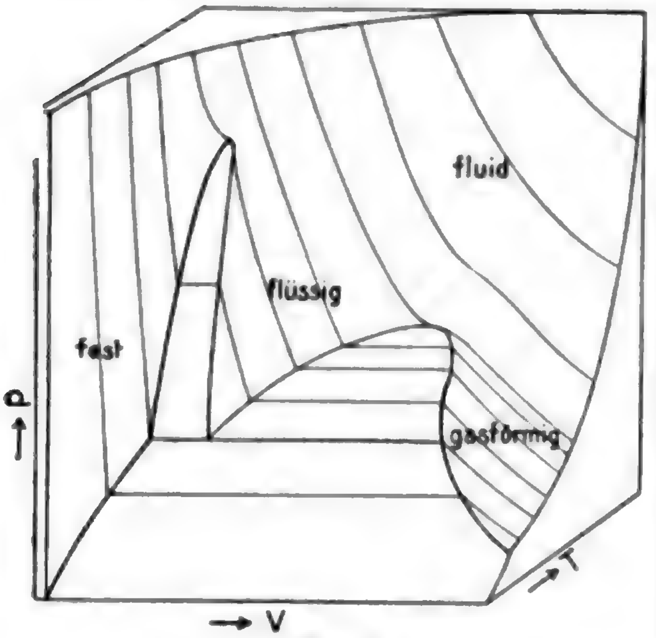


Fig. 3.

Potentials berechnet er sodann eine Gleichung zwischen dem Dissoziationsgrad, Volumen, Druck und Temperatur. In der Gleichung befinden sich mehrere für die betreffenden Substanzen geltende Konstanten und als wichtigste Größe die Volumänderung Δb, die sich auf die Zerlegung eines Doppelmoleküls in zwei einfache bezieht. Die Größe β bewirkt nun infolge ihrer Variabilität (zwischen Null und Eins) eine eigentümliche Veränderung der van der Waalsschen Zustandsgleichung. Bei kleinen Werten von V bildet sich infolge der starken Veränderung von β in diesem Gebiet erneut ein starkes Maximum und Minimum aus, das ähnlich wie das gewöhnliche Maximum und Minimum auf labile Zustände Bezug nimmt und als Gleichgewicht eine Wagrechte ergibt. Diese entspricht notwendigerweise einer dritten Phase, von der van Laar alsdann beweist, daß diese dem festen Zustande entsprechen muß, der also durch die Existenz von Doppelmolekülen (oder allgemein mehrfachen Molekülen) ausgezeichnet ist. Seine weiteren Untersuchungen auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann, führen ihn dann dazu, daß für den Fall der Figur 3 (Δb positiv) stets ein oberer kritischer Punkt bestehen muß. Im Fall, daß Δb negativ ist, folgt ein Verhalten nach Figur 2, daß aber in bestimmten Fällen auch anders sein kann. Zunächst ist es möglich, daß ein kritischer Punkt fest-flüssig auftritt, der jetzt aber einen Minimumdruck besitzt. Figur 4 zeigt, wie bei Veränderungen der Größe Δb verschiedene Fälle auftreten mit kritischen Punkten. Diese gehen schließlich in den normalen Fall über. Figur 5 zeigt alsdann, wie durch verschiedene Lage des Berührungspunktes der Druckachse ein geschlossenes Feld für den festen Zustand auftritt und wie dieses Feld auch ganz verschwinden kann. Die wenigen praktischen Untersuchungen über Veränderung des

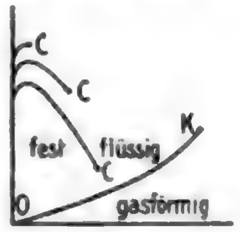


Fig. 4.

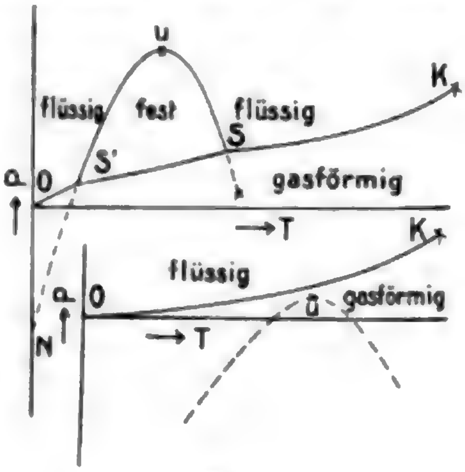


Fig. 5.

Schmelzpunktes mit dem Druck sind mit der Theorie van Laars in Uebereinstimmung. Ein kritischer Punkt fest-flüssig wurde bis jetzt durch Versuche noch nicht festgestellt.

Noch verwickelter werden die Verhältnisse bei Stoffen, die in zwei oder mehr festen Formen vorkommen können. Derartige Körper kennt man in großer Anzahl. Da jetzt noch eine Phase hinzukommt, gibt es in solchen Fällen auch noch andere Tripelpunkte, z. B. fest_2-flüssig-gasförmig und fest_1-fest_2-gasförmig oder auch fest_1-fest_2-flüssig. Diese Punkte sind meistens nicht gleichzeitig realisierbar. Bei Stoffen, die in zwei Formen vorkommen, unterscheidet man zwischen enantiotropen und monotropen Stoffen. Bei letzteren (z. B. Phosphor) ist eine Form herstellbar (z. B. der gelbe Phosphor), die stets der anderen Form gegenüber metastabil ist und sich von selbst oder unter Beschleunigung durch Katalysatoren in die stabile Form verwandelt. Bei den enantiotropen Stoffen hat jede der beiden festen Formen ein Flächengebiet im Druck-Temperatur-Diagramm, in dem es

Digitized by Google

stabil ist. Der Uebergang der bei niederen Temperaturen stabilen Form in die bei höheren stabile Form vollzieht sich unter Wärmeaufnahme. In dem Gebiete für die bei höheren Temperaturen stabile feste Phase können sich labile Gebiete befinden, die sich auf die bei tieferen Temperaturen stabile feste Phase beziehen. Dadurch erklärt sich die Erscheinung, daß ein Stoff zwei Schmelzpunkte besitzt, z. B. Schwefel, rhombisch 114°, monoklin 120°. Der Schmelzpunkt des rhombischen Schwefels ist labil, da sich schon bei 95,5° rhombischer Schwefel in monoklinen verwandelt. Die Umwandelungsgeschwindigkeit ist jedoch so gering, daß der rhombische Schwefel bis zum Schmelzpunkt bestehen kann. Bei enantiotropen Stoffe gibt es stets eine bestimmte Umwandelungstemperatur der einen festen Form in die andere. Die Veränderung dieser mit dem Druck wird durch die gleiche Formel $\frac{dp}{dT} = \frac{q}{T.v}$ beherrscht wie die Schmelztemperatur, indem in diesem Falle q und v die Wärmeaufnahme und Volumenänderung sind, die sich auf die Verwandelung des einen festen Stoffes in den anderen beziehen. Ist die Umwandelungstemperatur mit den bekannten Methoden nicht auffindbar, so kann ein solcher Stoff monotrop erscheinen, der Wärmeinhalt der beiden festen Formen gibt jedoch über den wahren Sachverhalt Auskunft. Nach Roozeboom besitzt der Kohlenstoff derartiges (pseudo-monotropes) Verhalten. Der Diamant verwandelt sich beim Erhitzen unter Luftabschluß in Graphit, da aber der Uebergang von Diamant in Graphit mit einer Wärmeabsorption verbunden sein muß (aus der Verbrennungswärme beider zu schließen), so kann der Kohlenstoff nicht monotrop sein, sondern es muß bei tieferer Temperatur der Diamant die stabile Form sein. Die Umwandelungstemperatur der in zwei Formen vorkommenden Stoffe kann auf verschiedene Art festgestellt werden. Optisch kann dieselbe leicht festgestellt werden, wenn die Farben der beiden Formen verschieden sind, z. B. beim Quecksilberjodid unter 126° rot, darüber gelb oder beim Silberjodid, unter 145° blaßgelb, darüber goldgelb. Aber auch bei Stoffen, die dieselbe Farbe in beiden Formen haben oder farblos sind, kann häufig durch Untersuchung des optischen Charakters im Erhitzungsmikroskop die Umwandelungstemperatur bestimmt werden. Die thermische Methode zur Bestimmung dieser Temperatur besteht in der Aufnahme von Abkühlungs- oder Erwärmungskurven. Infolge der Wärmeaufnahme bei der konstanten Umwandelungstemperatur zeigen diese Kurven charakteristische Unstetigkeiten, die dann zur Bestimmung dieser Temperatur dienen. Aehnliches gilt für die Veränderung des Volumens beim Erwärmen oder Abkühlen. Auch elektrische Methoden werden zur Bestimmung der Umwandelungstemperatur angewendet, ebenso wie Löslichkeitsbestimmungen, da naturgemäß diese physikalischen Eigenschaften für verschiedene Formen eines Stoffes voneinander abweichen. Zu diesen Methoden gesellt sich in einzelnen Fällen auch noch die Bestimmung der Dampfspannung, die natürlich auch bei Temperaturänderung dort unstetig wird, wo sich eine feste Form in eine andere verwandelt. Eine ganze Anzahl von häufig benutzten chemischen Stoffen kommt in mehr als einer festen Form vor. Es seien angeführt: Eisen (3 eventuell 4 Formen), Nickel, Schwefel, Phosphor, Kaliumhydroxyd, Natriumhydroxyd, Kaliumnitrat, Ammoniumnitrat (4 Formen), Silbernitrat und viele andere. Auch die interessanten sogenannten fließenden Kristalle sind auf eine zweite Form von geringer Kristallisationskraft zurückzuführen.

Die bisher erörterten Tripelpunkte enthalten stets als eine Phase die gasförmige. Es sind aber bei Einstoffsystemen auch einige Tripelpunkte fest$_1$-fest$_2$-flüssig bestimmt worden. So besteht bei 151° und 1288 Atmosphären Druck Gleichgewicht zwischen geschmolzenem Schwefel und den beiden festen Formen des rhombischen und monoklinen Schwefel. Ferner ist nach Tammann eine zweite Form des Eises bei —22° und 2200 Atmosphären Druck mit Wasser und der gewöhnlichen Form des Eises im Gleichgewicht.

5. **Zweistoffsysteme.** Die Kenntnis von Zweistoffsystemen ist naturgemäß sowohl in theoretischer Beziehung als auch in praktischer geringer als von Einstoffsystemen. Ganz allgemein ergibt sich aus der Regel: $P+F=C+2$ (weil $C=2$ ist) $P+F=4$. Die Anzahl der Phasen vermehrt um die der Freiheiten ist also vier. Haben wir $F = 0$, also ein invariantes System, so ist $P = 4$. Bei Anwesenheit von vier Phasen ist also das System vollständig bestimmt, d. h. man kann weder Druck, Temperatur, Volumen oder Konzentration der Phasen (also ihre Zusammensetzung) ändern, ohne das Gleichgewicht des invarianten Systemes zu zerstören. Da in einem Zweistoffsystem auch mehr als vier Phasen auftreten können: außer dem Gas z. B. zwei Flüssigkeiten und zwei oder mehr verschiedene feste Phasen, so kann man auch verschiedene invariante Gleichgewichte haben. Andererseits kann die Maximalzahl der Phasen bei Stoffen mit vollständiger Mischbarkeit in festem Zustand auch nur drei sein. In diesem Falle gibt es also kein invariantes Gleichgewicht. In einem P-T-Diagramm führt die notwendige Unveränderlichkeit von P und T für

Digitized by Google

das invariante Gleichgewicht zu einem sogenannten **Quadrupelpunkt**.

Die monovarianten Gleichgewichte (F=1) führen zu P = 3. Im P-T-Diagramm erhält man für monovariante Gleichgewichte Linien (Dreiphasenlinien), die in den Quadrupelpunkt auslaufen. Divariante Gleichgewichte bestehen bei Anwesenheit zweier Phasen und besitzen doppelte Mannigfaltigkeit (eben zwei Freiheiten). Zu den bisher für das Einstoffsystem benutzten Faktoren: Druck—Temperatur—Volumen kommt im Zweistoffsystem noch das Verhältnis der beiden Bestandteile in den Phasen, die Konzentration, hinzu. Die Beziehungen dieser vier Größen zueinander ist daher durch ein räumliches Modell nicht mehr darstellbar. Man beschränkt sich deshalb meistens auf die räumliche Darstellung dreier unter Nichtberücksichtigung eines der Faktoren, oder auch vielfach auf die ebene Darstellung zweier unter Vernachlässigung zweier anderer der bestimmenden Faktoren. Die nicht mit dargestellten Größen spielen bei der Untersuchung entweder keine Rolle oder man hat über sie bestimmte Annahmen gemacht. In den meisten Fällen wird das Volumen als das weniger wichtige und praktisch schwieriger zu bestimmende außer acht gelassen.

Zunächst soll das Verhalten eines Zweistoffsystemes auseinandergesetzt werden, das zu einer von Roozeboom angegeben vollständiger Darstellung über die Druck-Temperatur-Konzentrationsbeziehungen führt. Nachher soll in einigen Fällen auf die Veränderungen dieser Beziehungen eingegangen werden.

Das Gleichgewicht flüssig-gasförmig im Zweistoffsystem. Die Phasenregel auf das System flüssig-gasförmig angewendet ergibt ein bivariantes Gleichgewicht (F = 2). Von den Faktoren, die das Gleichgewicht bedingen, lassen sich also zwei variieren. Wählt man eine Darstellung, die die Konzentration mit Druck und Temperatur in Beziehung bringt, so ist das Gleichgewicht erst vollständig bestimmt, wenn für den Druck und für die Temperatur bestimmte Werte angenommen werden. Für diese Werte ist dann die Konzentration für Flüssigkeit und Dampf festgelegt. Zur Veranschaulichung sei die Figur 6 gewählt. Dieselbe gelte für eine bestimmte Temperatur, so daß infolgedessen das Gleichgewicht fest-flüssig noch monovariant ist, das heißt, nimmt man noch einen bestimmten Wert des Druckes an, so hat man auch eine bestimmte Zusammensetzung von fest und flüssig. Es sei auf der Linie AB die Zusammensetzung dargestellt, derart, daß die Mischung H aus x Molen B und (1—x) Molen A besteht. Wird nun für den Druck ein bestimmter Wert (p) genommen, so ist die Zusammensetzung von fest und flüssig festgelegt (F und G). Bei Variation des Druckes verschiebt sich die Zusammensetzung von F und G und da naturgemäß bei dem Dampfdruck der reinen Komponenten A und B die Zusammensetzung von fest und flüssig dieselbe wird, so müssen sich zwei Kurven ergeben, die von C nach D verlaufen, wenn AC und BD die Dampfdrucke der Bestandteile A und B für die angenommene Temperatur sind. Die Kurve

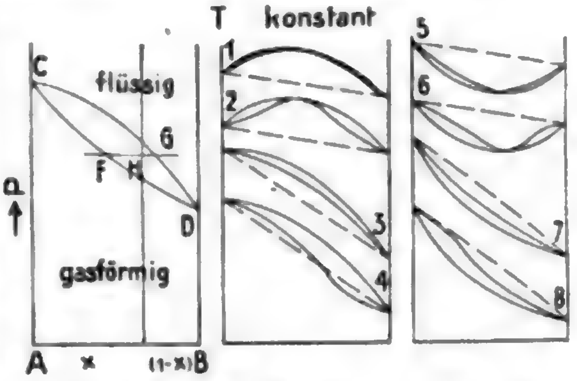


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.

für niedere Drucke bezieht sich auf der gasförmigen, die für höhere Drucke auf den flüssigen Zustand. Innerhalb des linsenförmigen Stückes hat man also bei den zugehörigen Drucken gleichzeitig Flüssigkeit und Dampf. Die Lage der Kurven kann auch anders sein, derart, daß sie von beiden Punkten C und D gleichzeitig steigen oder fallen. Dadurch bilden sich Maxima oder Minima der Dampfdrucke aus.

Die Phasenregel für sich sagt also nur etwas über die Existenz dieser Kurven aus, nicht über die Art derselben bei verschiedenen Substanzen. Hierfür muß man die van der Waalsschen Zustandsgleichungen für Gemische benutzen. Die verschiedenen Kurvenformen sind dann einmal abhängig von der Wärmetönung, die beim Mischen der beiden flüssigen Stoffe bei gleichem Druck und gleicher Temperatur auftritt, und zweitens von den absoluten Werten der Dampfdrucke der Komponenten. In Figur 7 sind einige Kurvenarten gezeichnet, die Flüssigkeitskurven ergeben, die ganz oberhalb der Verbindungsgeraden der Dampfdrucke der Komponenten liegen. Derartige Kurven heißen positive Flüssigkeitskurven. Sie finden sich bei Stoffen, die im flüssigen Zustande vermischt Wärme absorbieren. Ein Maximum (1 und 2) kann nur bei geringer Druckverschiedenheit auftreten oder wenn die (negative) Mischungswärme ziemlich groß ist. Umgekehrt treten die Fälle 3 und 4 bei größerer Differenz zwischen den Dampfdrucken der Komponenten oder bei geringer Größe der (negativen)

Digitized by Google

Mischungswärme auf. Negative Flüssigkeitskurven, also solche, die ganz unterhalb der Verbindungsgeraden liegen, finden sich nur bei Stoffen, bei deren Mischung Wärme frei wird. In diesen Fällen ist wenigstens eine der beiden Komponenten anormal (teilweise assoziiert oder elektrisch dissoziiert). Finden sich solche Kurven bei normalen Stoffen, so ist das Vorhandensein einer (teilweise dissoziierten) Verbindung anzunehmen. Die Fälle 5 und 6 (Fig. 8) treten wieder bei geringer Verschiedenheit der Dampfdrucke oder großen Werten der Mischungswärme auf, während die Fälle 7 und 8 (Fig. 8) in den gegenteiligen Fällen anzunehmen sind (Drucke voneinander abweichend, oder geringe Mischungswärme). Berücksichtigt man nun die Verschiebung, die durch Temperaturänderung in dem Diagramm sich vollzieht, so kann man ein vollständiges Bild von Druck-Temperatur-Konzentration für die Gleichgewichte flüssig-gasförmig bekommen. Ein solches zeigt beispielsweise Figur 9. Die Temperaturachse geht nach rechts und die Druckachse nach oben. Die Kurven D_1D_5 und C_1C_4 sind die Dampfdruckkurven der reinen Komponenten B und A. Für einige Temperaturen sind die Gleichgewichte fest-flüssig angegeben und man erkennt deutlich, daß sich zwei Blätter ausbilden, die seitlich in die Siedekurven der Komponenten übergehen. Bei höheren Temperaturen endigen sie in einer Kurve, die die kritischen Punkte verbindet, der sogenannten Faltenpunktskurve. Aus dieser läßt sich die Erscheinung der retrograden Kondensation oder Verdampfung erklären, eine eigentümliche Erscheinung, die darin besteht, daß ein einheitliches System (z. B. ein Gas) bei Druck- oder Temperaturänderung zunächst heterogen wird (teilweise Bildung von Flüssigkeit), um bei weiterer Druck- oder Temperaturänderung in gleichem Sinne wieder homogen zu werden (Verschwinden der Flüssigkeit). Mit Hilfe der angegebenen räumlichen Darstellung kann man auch das Verhalten bei konstantem Druck und verschiedener Temperatur finden. Man hat nur das Modell durch eine Fläche im Abstand des gewählten Druckes zu durchschneiden. Die Figur 9 zeigt eine solche Schnittfigur. Auch die kritischen Erscheinungen von Gemischen finden durch die Darstellung ihre Erklärung. Naturgemäß können sich bei Mischungen mit Druck-Maximum oder -Minimum andere Formen der Flüssigkeits- und Dampfdruckkurven ergeben. Auch die Form der Faltenpunktskurve kann z. B. durch ein Druck- oder Temperatur-Maximum oder -Minimum ausgezeichnet sein. Hierdurch ändert sich natürlich auch das Verhalten der flüssigen und gasförmigen Mischungen. Auf dieses alles kann hier weiter nicht eingegangen werden.

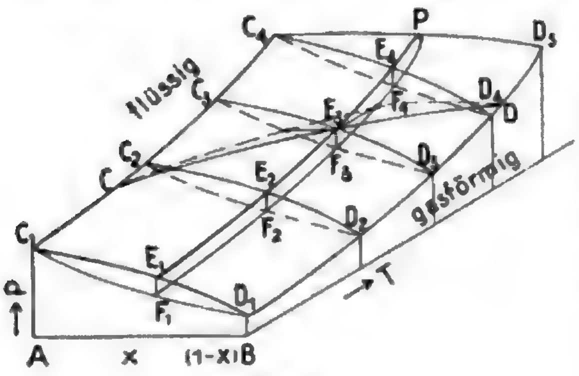


Fig. 9.

Das Gleichgewicht fest-flüssig im Zweistoffsystem. Es soll zunächst das Gleichgewicht nur für den Fall untersucht werden, daß die festen Phasen die beiden reinen Komponenten sind. Der Druck soll als konstant angesehen werden und so groß sein, daß gasförmige Phasen nicht vorkommen können. Hat man nur die Phasen flüssig und fest_1 oder flüssig und fest_2, so gelten ähnliche Regeln wie für flüssig-gasförmig. Es gibt eine Reihe von Temperaturen, bei denen diese Gleichgewichte möglich sind. Da jetzt aber auch drei Phasen gleichzeitig möglich sind, besitzt dieses System bei konstantem Druck auch ein invariantes Gleichgewicht. Es gibt also eine ganz bestimmte Temperatur, bei der die beiden festen Phasen mit einer ganz bestimmt zusammengesetzten Flüssigkeit im Gleichgewichte sind. Diese Temperatur nennt man eutektisch und die Mischung, die die Zusammensetzung der Flüssigkeit hat, heißt die eutektische Mischung. Um etwas Genaueres über die Gleichgewichtskurven zu erfahren, muß man die Beziehungen der thermodynamischen Potentiale zur Temperatur und zur Zusammensetzung in der Flüssigkeit und in den festen Bestandteilen kennen.

Unter Benutzung der Theorie von van der Waals für binäre Mischungen läßt sich eine Formel für die Schmelzkurven oder Löslichkeitskurven finden. In der Formel hat man nach van Laar als Größen, die zu bestimmen sind: die Schmelzwärme und Schmelztemperatur der reinen Bestandteile und die Mischungswärme der flüssigen Komponenten. Wird letztere vernachlässigt, so hat man die einfache Formel

$$-l(x) = \frac{Q}{2T_0}\left(\frac{T_0}{T}-1\right).$$

Man spricht dann von einer „idealen“ Schmelzkurve (x bezieht sich auf die Zusammensetzung, T ist die variable Temperatur, T_0 die Schmelztemperatur und Q die Schmelzwärme der betreffenden Komponente). Das Schmelzdiagramm ist dann durch Figur 10 dargestellt. CF und DF sind die stabilen

Schmelzkurven, die sich nach unten bis zum absoluten Nullpunkt in den labilen Teilen BF und AF fortsetzen. F ist die eutektische Mischung. Die Gerade EG gibt die Temperatur an, unterhalb welcher alles fest ist. Aus obiger Formel folgt für kleine Werte für x die bekannte van't Hoffsche Formel für die Gefrierpunktserniedrigung: (wobei —lx gleich x) $T_0 - T = \frac{2T_0T}{Q} \cdot x = \frac{2T_0^2}{Q} \cdot x$.

Es gibt eine sehr große Anzahl Stoffe, die sich in der durch Figur 10 angegebenen Art mischen (Mischungen von Metallen, von organischen Stoffen, von Wasser und Salzen usw.).

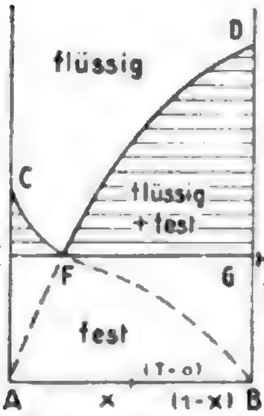


Fig. 10.

Durch Veränderung des Druckes werden die Schmelzerscheinungen wenig beeinflußt, indem nur geringe Lagenveränderungen des Punktes F in bezug auf Temperatur und Zusammensetzung eintreten, wie auch die Veränderung der Schmelzpunkte der reinen Bestandteile bei Druckänderung nur gering ist.

Die Raumfigur von Roozeboom für Zweistoffsysteme. Will man die Beziehungen von Temperatur-Druck-Zusammensetzung durch eine räumliche Darstellung zum Ausdruck bringen, so muß diese natürlich die vorher erörterten Gleichgewichte mit entalten. Hinzu kommen noch die Darstellungen für fest-gasförmig und für die Gleichgewichte fest-flüssig-gasförmig. Für das System fest-gasförmig läßt sich ähnlich dem vorhergehenden das Gleichgewicht ableiten. Bei bestimmter Temperatur erhält man ein invariantes Gleichgewicht fest$_1$-fest$_2$-gasförmig. Die Zusammensetzung des Gases ist derart, daß es von dem leichter flüchtigen Stoff mehr als von dem anderen enthält und der Druck ist höher als für fest$_1$-gasförmig oder fest$_2$-gasförmig für sich bei gleicher Temperatur. Die Figur 11, die das gesamte Gleichgewicht Druck-Temperatur-Konzentration umfaßt, enthält auch dieses Gleichgewicht fest-gasförmig. Sie gilt für den Fall, daß Stoff A einen größeren Dampfdruck und einen niedrigeren Schmelzpunkt als B hat. Aber auch bei anderer Annahme lassen sich die veränderten Beziehungen unschwer darstellen.

Allgemein gilt jetzt folgendes: nach der Phasenregel ist für Zweistoffsysteme $P + F = 4$. Sind also die vier vorkommenden Phasen: fest$_1$, fest$_2$, flüssig, gasförmig miteinander im Gleichgewichte, so ist dieses invariant. Da die Gleichgewichte zwischen fest-flüssig in das invariante Gleichgewicht übergehen müssen, so ist daraus die Zusammensetzung der Flüssigkeit im varianten Punkt sowie

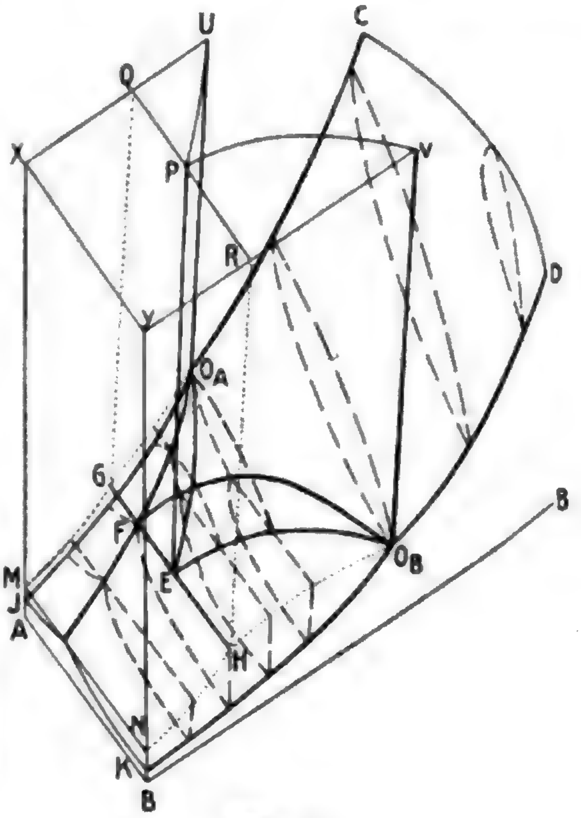


Fig. 11.

auch die Temperatur leicht abzuleiten. Ebenso ist aus den Gleichgewichten fest-gasförmig die Zusammensetzung des Gases und des Druckes im invarianten Gleichgewichte abzuleiten. Die Temperatur des invarianten Gleichgewichtes ist also tiefer als die Schmelztemperatur jeder Komponente und der Druck ist höher als der Dampfdruck jeder Komponente bei dieser Temperatur.

Dieses ergibt alsdann eine Darstellung wie sie Figur 11 zeigt. Das Zustandsdiagramm des Stoffes A ist durch die Kurven O_AJ, O_AC und O_AU und das von B durch O_BK, O_BD und O_BV angegeben. Das invariante Gleichgewicht hat einen Druck und eine Temperatur, wie es die Gerade GFEH anzeigt. Der Punkt F stellt dann die Zusammensetzung des Gases und E die der Flüssigkeit dar. Diese Punkte gehören dann auch zu den vorher erwähnten Gleichgewichten. Man erkennt aus der Figur, wie sich die zweiblätterige Fläche flüssig-gasförmig keilförmig bis zur Geraden EF vorschiebt, wie die Flächen für fest-flüssig auf den beiden Flächen GEO_A und HEO_B aufliegen und wie die Flächen fest-gasförmig unter die drei Flächen MNHG,

Digitized by Google

GFO_A und HFO_B zu liegen kommen. Für jede der Phasen Gas, Flüssigkeit und Fest hat man dann räumliche Gebiete, die von den Flächen, die sich auf je zwei Phasen beziehen, abgegrenzt werden. Der kontinuierliche Uebergang flüssig-gasförmig über die Faltenpunktkurve CD weg wurde schon erwähnt. Die Schmelzbeziehungen bei hohen Drucken mit ihren kritischen Punkten sollen nicht weiter erörtert werden. Um die Figur deutlicher zu machen, sind einige Durchschnitte bei bestimmten Temperaturen gezeichnet.

Von besonderem Interesse sind in der Figur noch die monovarianten Gleichgewichte: $fest_1$-flüssig-gasförmig und $fest_2$-flüssig-gasförmig. Diese führen zu den sogenannten Dreiphasenlinien und zwar gehören zusammen O_AG (fest A) O_AF (gasförmig) mit O_AE (flüssig) und O_BH (fest B) A_BE (flüssig) mit O_BF (gasförmig). In einer Projektion auf die PT-Fläche ergeben diese drei Linien gleiche Kurven (das Gleichgewicht ist ja monovariant), die in dem Punkte, der das invariante Gleichgewicht aller vier Phasen darstellt, endigen. Von Bedeutung ist besonders die von O_B ausgehende Kurve dadurch, daß sie häufig ein Druckmaximum besitzt. Ein solches findet sich z. B. immer bei den Mischungen aus Wasser und Salz, die sich durch das Modell räumlich darstellen lassen. Man hat das Verhalten der Vulkane durch diese Kurve erklärt.

Es lassen sich auch wagerechte Schnitte gleichen Druckes durch das Modell legen und dadurch das Verhalten bei konstantem Druck (z. B. Atmosphärendruck) erforschen. Die verschiedene Lage der Punkte auf den Seitenflächen kann eine sehr verschieden große Ausbildung der einzelnen Gebiete bewirken. Solange nicht eine Störung der Gleichgewichte durch die Faltenpunktkurve CD auftritt (bei großer Verschiedenheit in den Schmelzpunkten der Komponenten) kann aber das Verhalten durch dieses Modell dargestellt werden.

Die sehr interessanten kritischen und retrograden Erscheinungen, die bei zwei Stoffen auftreten, von denen der eine erst schmilzt, wenn die kritische Temperatur (gasförmig-flüssig) beim anderen bereits überschritten ist, sind von Smits theoretisch und praktisch (Aether-Anthrachinon) untersucht.

Anders wird aber das Verhalten, wenn sich zwei Flüssigkeiten bilden können oder wenn sich Zahl und Art der festen Phasen durch Auftreten von Verbindungen oder Mischkristallen ändern.

Bildung zweier Flüssigkeitsschichten bei Zweistoffsystemen. Mischen sich zwei Stoffe im flüssigen Zustande nur in beschränktem Maße (z. B. Zink mit Blei oder Aether mit Wasser), so hat man vom Standpunkt der Phasenlehre fünf Phasen im Zweistoffsysteme: $fest_1$-$fest_2$-$flüssig_1$-$flüssig_2$ gasförmig. Dieses bedingt die Bildung zweier verschiedener invarianter Gleichgewichte. Die Figur 12 gibt Auskunft über das Verhalten, wenn der Druck außer acht gelassen wird. Dieser ist so hoch gewählt, daß gasförmige Zustände nicht in Betracht kommen. Die invarianten Temperaturen führen zu den beiden Gleichgewichten zwischen der Flüssigkeit G und den beiden festen Stoffen bei der Temperatur von FGH und zwischen den beiden Flüssigkeiten C und D mit festem B bei der Temperatur von CDE. Gegenüber dem früher erwähnten Verhalten, das durch Figur 10 dargestellt ist, findet sich noch das Gebiet CDK, das sich auf die gleichzeitige Anwesenheit zweier Flüssigkeiten bezieht. Das Gleichgewicht zwischen zwei Flüssigkeiten ist bei bestimmtem Druck monovariant. Die zusammengehörenden Flüssigkeiten liegen bei den verschiedenen Temperaturen auf CJK und DLK. Bei der kritischen Temperatur K sind die beiden Flüssigkeiten in eine übergegangen, so daß man oberhalb dieser nur noch eine Flüssigkeit im Systeme hat.

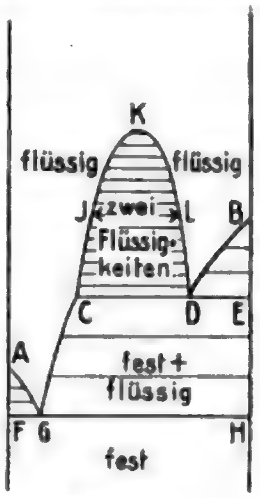


Fig. 12.

Gleichgewichte zwischen Mischkristallen oder chemischer Verbindung und einer Flüssigkeit im Zweistoffsystem. Von den vielen Gleichgewichten, die im Zweistoffsysteme sonst noch möglich sind, sollen hier noch einige zwischen flüssig-fest erörtert werden. Der Druck ist also stets so hoch, daß ein Gas sich erst bei so hohen Temperaturen bildet, daß es das zu untersuchende Gleichgewicht fest-flüssig nicht stört.

Hat man zwischen den beiden festen Phasen eine ununterbrochene Reihe von Mischkristallen (z. B. bei Silber-Gold, Chlornatrium-Chlorkalium, Quecksilberbromid-Quecksilberjodid), so kann man vom Standpunkt der Phasenregel das Verhalten durchaus mit dem Sieden von Flüssigkeiten bei konstantem Druck vergleichen. Beide Phasen erstrecken sich ununterbrochen von dem einen Bestandteil zum anderen. Die Figuren, die jetzt das Schmelzen und Erstarren angeben sind daher auch durchaus dieselben, wie die für das Sieden von Flüssigkeiten (Fig. 7 und 8, wobei allerdings jetzt P konstant und T variabel ist). Eine nähere Untersuchung mit Hilfe des thermodynamischen Potentials hat gezeigt, daß Kurven mit einem Schmelzpunktmaximum nicht vorkommen, man hat also nur zwei

Digitized by Google

Fälle: Kurven mit Minimum der Temperatur und ohne solches. Aus den Kurven folgt das Verhalten beim Schmelzen und Erstarren, daß demnach dem beim Verdampfen durchaus ähnlich ist. Man erkennt, wie mit Hilfe der Phasenlehre scheinbar ganz verschiedene Erscheinungen unter demselben Gesichtspunkt betrachtet werden können.

Bilden sich im Zweistoffsysteme zwei Arten von Mischkristallen, so ist ein invariantes Gleichgewicht möglich. Man kann zwei Fälle unterscheiden. Im ersten erhält man einen sogenannten Uebergangspunkt (z. B. Cadmium-Quecksilber oder Silbernitrat-Natriumnitrat) im zweiten einen eutektischen Punkt (z. B. Kupfer-Silber oder Kaliumnitrat-Natriumnitrat. Die Fälle sind schematisch dargestellt in Figur 13. Die schraffierten Teile zeigen die Gebiete an, innerhalb deren homogene Mischkristalle möglich sind.

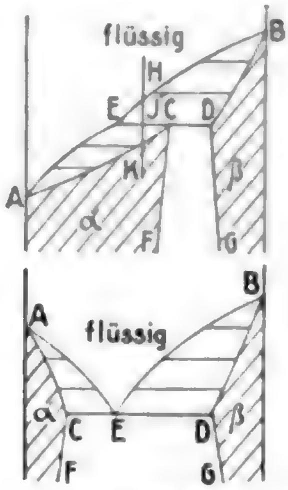


Fig. 13.

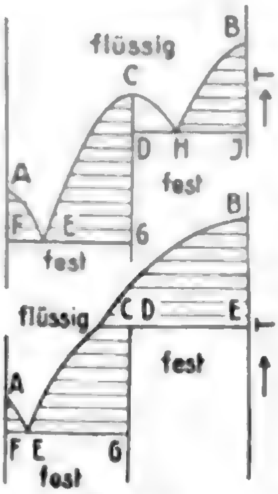


Fig. 14.

Das Verhalten beim Schmelzen und Erstarren kann aus den Figuren leicht abgeleitet werden. Bei der oberen Figur ist das Verhalten einer Mischung H J K von besonderem Interesse. Diese ist oberhalb H flüssig und unterhalb K fest. Zwischen HJ hat man ein Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Mischkristallen β und zwischen JK zwischen dieser und Mischkristallen α, während nur bei der invarianten Temperatur EJCD eine Flüssigkeit (C) mit einem Mischkristall β (D) und einem α (C) im Gleichgewicht sein kann. Dieses bedingt folgendes Verhalten beim Erstarren: nach der ersten Ausscheidung von Mischkristallen β verändern sich diese und die Flüssigkeit bis D und E, dann tritt bei konstanter Temperatur unter Aufzehrung von β (D) der Mischkristall α (C) auf und erst wenn alles β (D) verschwunden ist, ändern sich α (C) und Flüssigkeit E mit sinkender Temperatur so lange, bis der Mischkristall α die Zusammensetzung K erlangt hat, dann ist die Mischung vollständig fest geworden. Die Kurven CF und DG begrenzen die Gebiete der Mischkristalle, ihre Lage kann eine Veränderung fester Mischungen bedingen.

Beim Auftreten einer chemischen Verbindung neben den reinen Komponenten lassen sich zwei Fälle unterscheiden, die durch die Figur 14 ausgedrückt sind. Die Verbindung liegt ihrer Zusammensetzung nach auf DG. In dem einen Falle schmilzt die Verbindung zu einer Flüssigkeit gleicher Zusammensetzung (Fig. 14 unten), im anderen Falle nicht (Fig. 14 oben). Man unterscheidet danach die Verbindungen in kongruent und inkongruent schmelzende. Bei inkongruent schmelzenden Verbindungen (Fig. 14 unten) hat man einen Uebergangspunkt (C) und eine eutektische Mischung (E), im anderen Falle zwei Eutektika (E und H). Die kongruent schmelzende Verbindung hat den Schmelzpunkt C. Man könnte in diesem Falle die Figur durch die Senkrechte CDG in zwei Teile zerlegen, die alsdann zwei Systeme der früher erörterten Art ergeben würde. Dieses ist aber höchstens der Anschaulichkeit wegen zulässig, da der Punkt C (Fig. 14 oben) eine Kuppe und keine Spitze hat. Je stärker die Verbindung beim Schmelzen dissoziiert, desto flacher ist die Kuppe. Dieser Fall ist auch eingehend theoretisch untersucht. Flüssigkeit und Dampf, die beim Schmelzen entstehen, haben etwas andere Zusammensetzung als die Verbindung, die deshalb gar keinen Schmelzpunkt, sondern ein, manchmal sehr kleines, Schmelzintervall hat.

Noch kompliziertere Fälle bei Zweistoffsystemen sind solche, bei denen mehrere Verbindungen oder Mischkristalle auftreten, wie man sie vielfach hat (z. B. Kupfer-Zinn, Salze-Wasser usw.). Als Grundlage muß in allen Fällen die Regel $P+F=4$ gelten. In einigen Fällen sind auch die Dampfdrucke untersucht, so bei Mischungen von Jod und Chlor (Verbindungen: JCl_3, $JCl\alpha$ und $JCl\beta$), bei Wasser und Schwefeldioxyd (Verbindung $SO_2 . 7H_2O$ schmilzt bei 12,1° und 177,3 cm Druck unter Bildung zweier Flüssigkeiten), ferner bei Lösungen von Salzen in Wasser. Manchmal wird das Verhalten von Zweistoffsystemen auch durch Auftreten mehrerer fester Formen (z. B. beim Eisen-Kohlenstoff) verändert.

Ein weiteres Eingehen auf diese Systeme ist hier nicht möglich.

6. Drei- und Mehrstoffsysteme. Die Untersuchung von Dreistoffsystemen ist in theoretischer und praktischer Beziehung erheblich unvollständiger als die der Zweistoffsysteme. Berücksichtigt werden sollen hier einige Verdampfungserscheinungen bei konstantem Druck und einige Schmelzvorgänge.

Ganz allgemein hat man, da drei unabhängige Bestandteile vorhanden sind: $P+F=5$. Dieses führt für das invariante Gleich-

Digitized by Google

gewicht (F=0) zu einem Quintupelpunkt (P_1T,V konstant) mit fünf verschiedenen Phasen. Das monovariante Gleichgewicht (F=1) besitzt vier Phasen.

Das Verdampfen von Dreistoffmischungen bei konstanter Temperatur. Als Darstellungsform der Mischungsverhältnisse dreier Stoffe benutzt man meist ein reguläres Dreieck. Sind x und y die auf ein schiefwinkeliges Achsenkreuz von 60° bezogene Koordinaten, so kann eine jede Mischung der Stoffe mit dem Molekulgewichte A, B und C ausgedrückt werden durch die Formel xCyB (1—x—y) A. Diese umfaßt dann bei Aenderung der Werte von x und y zwischen Null und Eins das ganze Dreieck. In Figur 15 soll nun der Fall einer Verdampfung bei konstantem Druck dargestellt werden. Wird die Temperatur als Ordinate gewählt so hat man auf den Grenzflächen das Verdampfen der flüssigen Mischungen je zweier Komponenten darzustellen. Im Innern vereinigen sich die Gebiete flüssig-gasförmig zu einem linsenförmigen Stück. Dasselbe ist bei zwei verschiedenen Temperaturen durchschnitten, um den Zusammenhang von flüssig-gasförmig zu zeigen. Man erhält zwei Kurven, die die Zusammengehörigkeit der Phasen angeben. Jedem Punkt flüssig entspricht ein Punkt gasförmig. Aus dem Modell ist das Verhalten beim Sieden von ternären Flüssigkeitsgemischen abzuleiten. Die Figur kann durch die Verschiedenheit der Grenzbedingungen Aenderungen erleiden. Immer gibt es aber zwei Flächen, die einander entsprechen.

Genau die gleiche Darstellung gilt für das Schmelzen und Erstarren dreier Stoffe, die sich in festem Zustand unbeschränkt mischen. Ein ähnliches Verhalten wurde bereits bei den Zweistoffsystemen gefunden.

Ein besonders einfacher Fall beim Schmelzen und Erstarren von Dreistoffsystemen ist in der Figur 16 dargestellt. Die drei binären Systeme besitzen je einen eutektischen Punkt, was dazu führt, daß sich eine ternäre eutektische Mischung ausbildet, die beim Erstarren alle drei Bestandteile zur Ausscheidung bringt. Jede Komponente besitzt in diesem Falle eine Erstarrungsfläche und je zwei scheiden sich in eutektischen Linien. Das ternäre Eutektikum entspricht dem invarianten Gleichgewicht, wenn man noch das Gas berücksichtigt, das mit ihm in Gleichgewicht ist. Die vier anderen Phasen außer diesem sind dann die flüssige Mischung und die drei festen Komponeten. Aus der Figur läßt sich das Verhalten jeder Mischung bei einer bestimmten Temperatur ablesen. Dieses Verhalten zeigen eine Anzahl Legierungen (z. B. Bismut, Blei, Zinn und manche Lösungen zweier Salze in Wasser).

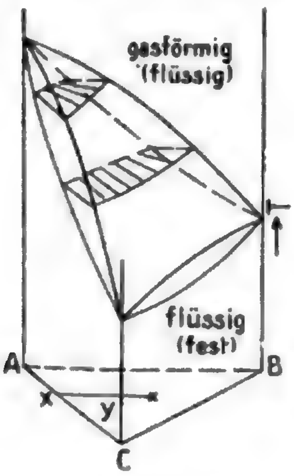


Fig. 15.

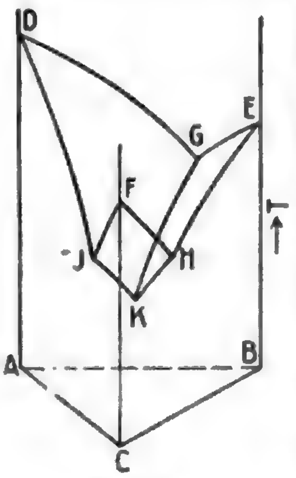


Fig. 16.

Hat man in Dreistoffsystemen Verbindungen zweier oder dreier der Bestandteile, so wird das Erstarrungsbild verwickelter. Solche Verbindungen sind sehr zahlreich bei Systemen von Salzen und Wasser, (z. B. Hydrate, wasserfreie und wasserhaltige Doppelsalze). Auch bei Legierungen sind sie häufig. Bei diesen findet man auch vielfach binäre und ternäre Mischkristalle.

In bezug auf das Schmelzen und Erstarren hat man (bei Nichtbeachtung des Dampfes) die Regel, daß höchstens drei feste Bestandteile gleichzeitig mit Flüssigkeit im Gleichgewichte sein können. Diese führen vielfach zu ternären eutektischen Mischungen, doch sind auch Gleichgewichte möglich derart, daß die Gleichgewichtstemperatur kein Minimum ist. Ein solches soll bei den sogenannten reziproken Salzpaaren auseinandergesetzt werden.

Reziproke Salzpaare. Hat man vier Salze, die die positiven Radikale M_1 und M_2 und die negativen S_1 und S_2 enthalten, so besteht eine Gleichung $M_1S_1 + M_2S_2 = M_1S_2 + M_2S_1$. Diese vier Salze nennt man reziproke Salzpaare. Kommen in einem Systeme stets nur diese und niemals die freien Metalle oder Säurereste vor, so ist das System ein System dreier unabhängiger Bestandteile. Bei vielen Systemen, wo die Salze ohne Zersetzung schmelzen, trifft diese Voraussetzung für das Gleichgewicht fest-flüssig zu. Ein einfacher Fall, in welchen im Schmelzfluß als Bodenkörper nur die reinen Salze auftreten, soll durch Figur 17 kurz erläutert werden. Zur Darstellung der Mischungen aller Salze benutzt man ein Quadrat. Bei den rechtwinkeligen Koordinaten x und y ist eine Mischung dargestellt durch die Formel $xM_2(1-x)M_1yS_2(1-y)S_1$. Oberhalb des Quadrates befindet sich die Temperaturachse, so daß ein vierseitiges Prisma entsteht. Aehnlich dem in Figur 16 dargestellten hat man für jedes Salz eine Erstarrungsfläche, wobei eine Annahme gemacht ist, die zu einem sogenannten inkongruenten Schmelzpunkt und zu einem Eutektikum führt. Entsprechend der Phasen-

Digitized by Google

regel dürfen die vier Erstarrungsflächen nur zu je drei in einem Punkte zusammentreffen. Hieraus folgt, daß nur bei einem der Salzpaare, die in den Ecken einander gegenüberliegen,

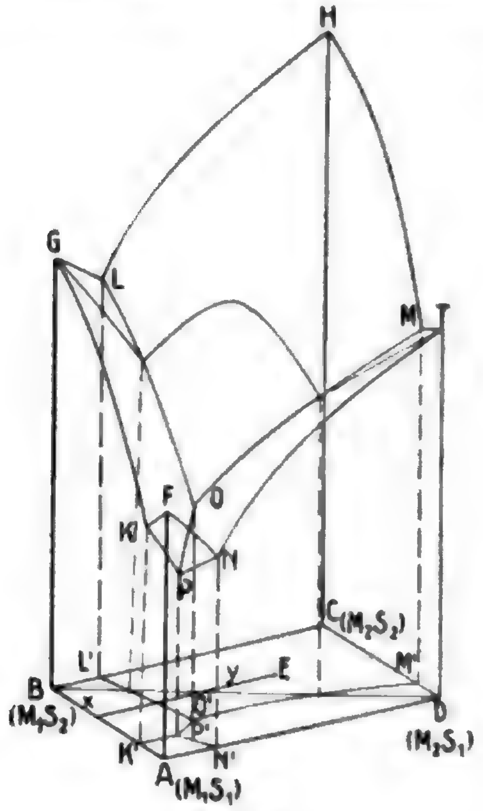


Fig. 17.

die Erstarrungsflächen zusammenstoßen können. Dieses Paar heißt das stabile (M_1S_2—M_2S_1). Die beiden Punkte O und P beziehen sich auf die invarianten Gleichgewichte. Hierbei ist P ein ternäres Eutektikum, während O einen Uebergangspunkt darstellt. Dieser Punkt stellt nämlich eine Flüssigkeit dar, die ihrer Zusammensetzung nach außerhalb des Gebietes der drei Salze liegt, mit denen sie im Gleichgewichte ist. Durch Vermischen dieser drei Salze ist sie nicht herstellbar. Hierdurch wird das eigentümliche Verhalten eines Uebergangspunktes in ternären Systemen bedingt.

Vier- und Mehrstoffsysteme. Vierstoffsysteme sind untersucht in den Lösungen dreier gleichioniger Salze und reziproker Salzpaare in Wasser. Durch Hinzutreten einer Phase sind die Freiheiten um eine vermehrt. Untersucht sind fast ausschließlich Löslichkeitsverhältnisse. Bei konstanter Temperatur und den Dampfdrucken, die das System festflüssig im Gleichgewicht besitzt, kann man die Löslichkeitsverhältnisse räumlich darstellen. Hat man vier verschiedene Komponenten, so wird die Zusammensetzung durch ein reguläres Tetraeder angegeben. Bei Lösungen reziproker Salzpaare kann man zwei Darstellungen benutzen. Entweder indem man die Mischung der vier Salze durch ein Quadrat, wie vorher darstellt und den Wassergehalt als Ordinate aufträgt oder man benutzt ein Achsenkreuz aus vier Geraden, die gegenseitig einen Winkel von 60° bilden. Letztere Darstellung ist zurzeit die gebräuchliche. Auf den Vorteil der anderen Darstellung hat besonders Jänecke hingewiesen. Man erhält ähnliche Gleichgewichte wie bei reziproken Salzpaaren für sich. Zu den Vierstoffsystemen gehört auch z. B. die Woodsche Legierung (Cd,Sn,Pb,Bi), die ein quaternäres Eutektikum ist.

Auch die Untersuchungen van't Hoffs über ozeanische Salzablagerungen sind am leichtesten unter Benutzung der Phasenlehre zu verstehen. Die Lösungen der Salze KCl, $MgCl_2$, K_2SO_4, $MgSO_4$ in gesättigter NaCl-Lösung sind als ein Fünfstoffsystem aufzufassen. Ein sehr wesentliches Merkmal für diese ist z. B. die Bedingung, daß nur bei ganz bestimmten Temperaturen außer Kochsalz vier Bodenkörper anwesend sein können, während bei anderen, beliebig herausgegriffenen Temperaturen (z. B. 25° und 83°) nur drei vorhanden sein können.

7. Anwendungen. Die Phasenlehre läßt zahlreiche Anwendungen auf andere wissenschaftliche Disziplinen und auf die Praxis zu. Erwähnt wurden solche schon mehrfach. Aeußerst wichtige Beziehungen folgen aus ihr für die Geologie und für die Konstitution der Himmelskörper. Erwähnt soll hier nur eine neue Theorie von Svante Arrhenius über die Kalilager werden. Nach den Untersuchungen van't Hoffs kann ein Gemisch von Chlorkalium und Kieserit (das Hartsalz) aus einer gesättigten Lösung nur oberhalb 73° auskristallisieren. Die geologischen Funde lassen aber bei der Entstehung eine so hohe Temperatur nicht zu. Sobald man aber mit Arrhenius annimmt, daß die zuerst ausgeschiedenen Salze zeitweise von anderen Schichten in einer Stärke von 2000 m überdeckt waren, ist der Widerspruch gelöst. In solcher Tiefe muß die Temperatur von 73° überschritten werden und daher die Bildung von $KCl + MgSO_4 . H_2O$ eintreten. Auch die ganz abnormen Faltungen im Salzgebirge sind durch die kollosale Volumänderung bei diesem Prozeß zwanglos erklärt.

Für die Technik ist besonders die Anwendung der Phasenlehre auf die Herstellung von Metallen, von Legierungen und Salzlösungen von Bedeutung (z. B. Verarbeitung der Kalisalze, Herstellung von Ammoniaksoda usw.).

Literatur. **Gibbs**, *Thermodynamische Studien. 1876—1878.* — **Bancroft**, *The Phase rule. 1897.* — **Roozeboom**, *Phasenlehre. 1901—1911.* — **Meyerhoffer**, *Die Phasenlehre. 1893.* — **Findlay**, *The Phase rule. 1904.* — **Marc**, *Chemische Gleichgewichtslehre. 1911.* — *Monographien:* **van Laar**, *Thermodynamisches*

Digitized by Google

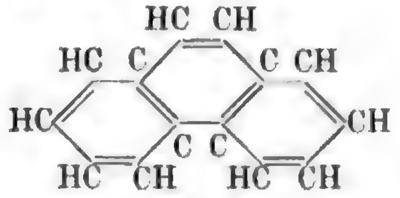
Potential. 1906. — **van't Hoff,** *Ozeanische Salzablagerungen.* 1905 *und* 1909. — **van der Waals,** *Kontinuität des festen und flüssigen Zustands.* 1899 *und* 1900. — **Jänecke,** *Gesättigte Salzlösungen vom Standpunkt der Phasenlehre.* 1908. — *Verschiedene Bücher über Legierungen, z. B.* **Dessau** *(1910);* **Desch** *(1911);* **Bornemann** *(1909—1912);* **Jänecke** *(1910);* **Guertler** *(1909).* — *Einzelne wissenschaftliche Abhandlungen sind in den Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften Amsterdam und der Zeitschr. f. physik. Chemie enthalten.*

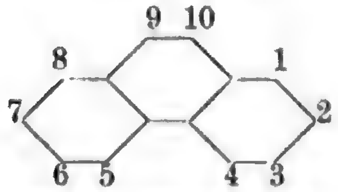
E. ***Jänecke.***

Phenanthrengruppe.

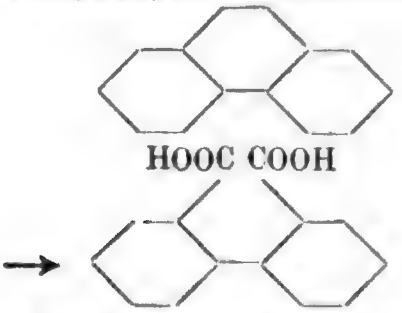
1. Formel und Konstitution des Stammkohlenwasserstoffs. 2. Phenanthren: Darstellung, Eigenschaften, Synthesen. 3. Abkömmlinge.

1. Formel und Konstitution des Stammkohlenwasserstoffs. Die Stammsubstanz dieser Gruppe, das Phenanthren, ist in seiner empirischen Zusammensetzung mit dem Anthracen identisch und auch in seiner Konstitution dem Anthracen sehr ähnlich. Wie dieses besteht es aus drei kondensierten Benzolkernen, aber ihre Anordnung in der Molekel ist eine andere und wird durch folgende Formel wiedergegeben:



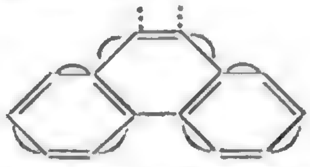


Diese Konstitutionsformel ergibt sich aus einer Reihe von Synthesen (s. unten) und aus folgendem Abbau: Durch Oxydation von Phenanthren erhält man Diphensäure (Di-o-diphenyldicarbonsäure).



Die Zahlenbezeichnung der Kohlenstoffatome entspricht der des Anthracens (siehe den Artikel „Anthracengruppe"), auch hier sind die beiden Kohlenstoffatome im mittleren Benzolkern, die substituierbaren Wasserstoff besitzen, mit 9 und 10 bezeichnet. Infolge der geringeren Symmetrie der Phenanthrenmolekel ist die Zahl der isomeren Monosubstitutionsprodukte eine größere als beim Anthracen; es sind deren fünf möglich (unter sich identisch sind die Stellungen 1 und 8, 2 und 7, 3 und 6, 4 und 5, 9 und 10).

Von der Verteilung der Valenz in der Molekel gibt die Thielesche Phenanthrenformel ein gutes Bild:



Während in den beiden äußeren Ringen ein völliger Ausgleich der Partialvalenzen wie in einem typischen Benzolkern stattfindet, bleibt an den mittleren Kohlenstoffatomen 9 und 10 freie Partialvalenz übrig, wodurch diese Punkte für Additionsreaktionen besonders geeignet erscheinen, was mit den Tatsachen in bester Uebereinstimmung steht.

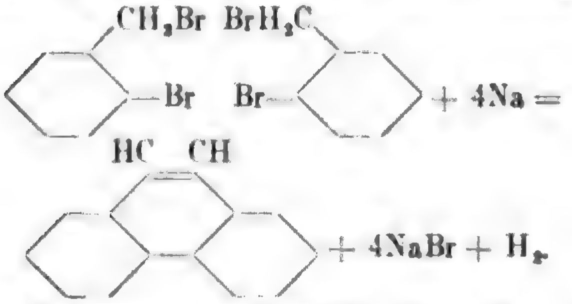
2. Phenanthren: Darstellung, Eigenschaften, Synthesen. Das Phenanthren $C_{14}H_{10}$, wurde 1872 im Steinkohlenteer entdeckt, wo es in der das Anthracen enthaltenden Fraktion vorkommt. Es wird von dem Anthracen getrennt, indem man auf das Gemenge beider Körper unzureichende Mengen Chrom- oder Salpetersäure einwirken läßt, wodurch das Anthracen leichter als das gegen oxydierende Einflüsse beständigere Phenanthren oxydiert wird. Ganz reines Phenanthren erhält man durch Reduktion von Phenanthrenchinon. Die technische Bedeutung des Phenanthrens ist gering und daraus erklärt sich die Tatsache, daß auch die wissenschaftliche Erforschung der Phenanthrengruppe hinter der der Anthracen- und Naphtalinderivate erheblich zurücktritt. Ein besonderes Interesse verdient die Beziehung des Phenanthrens zu den im Opium enthaltenen Alkaloiden: Morphin, Codein und Thebain, deren Konstitution in neuerer Zeit fast völlig aufgeklärt worden ist (vgl. den Artikel „Alkaloide").

Das Phenanthren kristallisiert in farblosen Blättchen oder Tafeln des monoklinen Systems; sein Schmelzpunkt liegt bei 99°, es siedet unter gewöhnlichem Druck bei 340°. In den meisten organischen Lösungsmitteln ist es leicht löslich (mit schwach blauer Fluoreszenz). — Zum Nachweis des Phenanthrens kann das Pikrat ($C_{14}H_{10}.C_6H_2(NO_2)_3$-OH), eine schön kristallisierende Verbindung vom Schmelzpunkt 145° dienen, oder man oxydiert das Phenanthren zu dem leicht identifizierbaren Phenanthrenchinon.

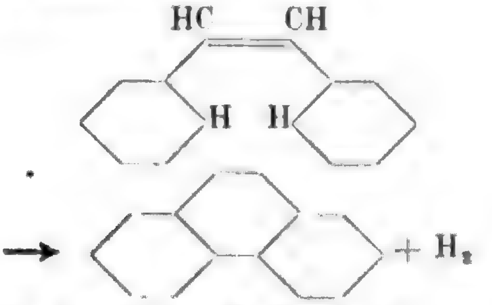
Die Konstitution des Phenanthrens ist

Digitized by Google

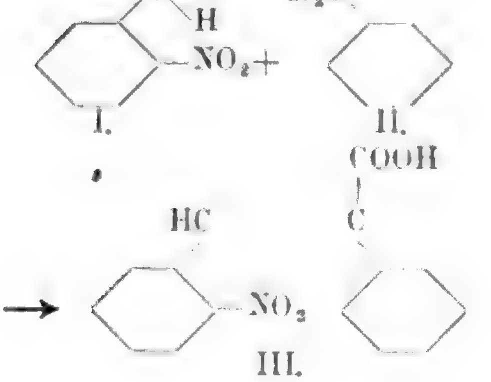
durch eine Reihe von Synthesen erwiesen, z. B. entsteht es in geringer Menge als Nebenprodukt bei der Synthese des Anthracens aus o-Brombenzylbromid und Natrium:



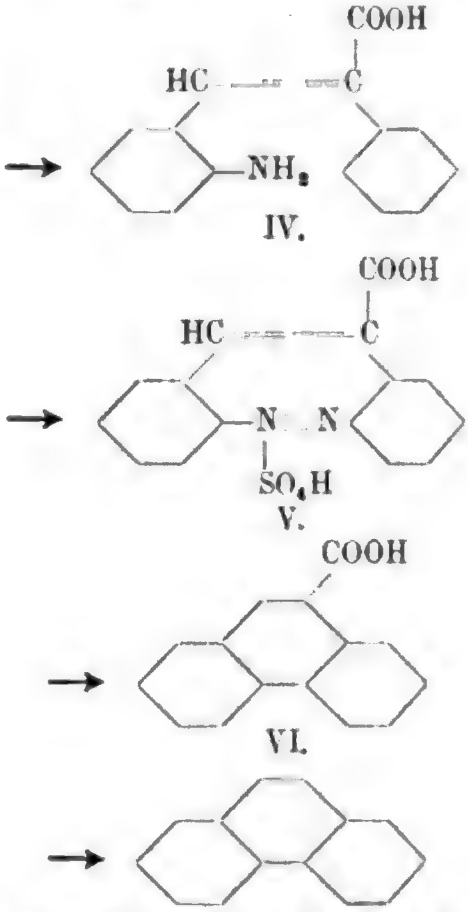
Auf pyrogenem Wege bildet es sich u. a. beim Erhitzen von **Stilben**:



Von besonderer Bedeutung ist der von **Pschorr** gefundene Aufbau des Phenanthrens aus Nitrobenzaldehyd und phenylessigsaurem Natrium und zwar deshalb, weil diese Synthese es gestattet, fast beliebige Derivate des Phenanthrens von bekannter Konstitution darzustellen, indem man von substituierten Benzaldehyden und Phenylessigsäuren ausgeht. Der Verlauf der **Pschorr**schen Synthese ist folgender: Durch Kondensation von o-Nitrobenzaldehyd (I) und phenylessigsaurem Natrium (II) mittels Essigsäureanhydrid entsteht α-Phenyl-o-nitrozimmtsäure (III); diese wird durch Reduktion in die Aminoverbindung (IV) übergeführt, welche beim Diazotieren in schwefelsaurer Lösung das Diazoniumsulfat (V) liefert. Beim Schütteln mit Kupferpulver entsteht unter Stickstoffentwicklung Phenanthrencarbonsäure (VI), die bei der Destillation unter Kohlendioxydabspaltung in Phenanthren übergeht.



I. II. III.

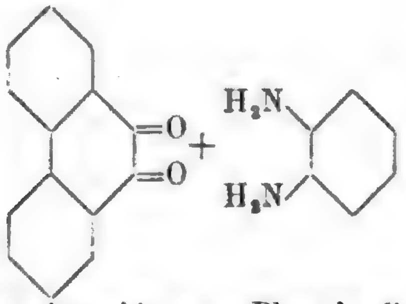


IV. V. VI.

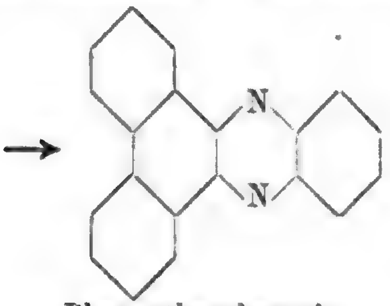
3. Abkömmlinge. Von den Homologen des Phenanthrens, sowie von seinen Halogen-, Nitro- und Aminoderivaten sind nur verhältnismäßig wenige bekannt und näher untersucht. In der Natur (in manchen harzreichen Nadelhölzern) findet sich ein Methylisopropylphenanthren, das **Reten**, dessen Hydrierungsprodukt der ebenfalls in der Natur vorkommende **Fichtelit** ist. — Bei der Sulfurierung von Phenanthren in Chloroformlösung mit Chlorsulfonsäure entstehen zwei isomere **Phenanthrenmonosulfosäuren** (die 2- und 3-Säure). Durch Alkalischmelze dieser Sulfosäuren gelangt man zu den entsprechenden Monoxyderivaten des Phenanthrens, den sogenannten **Phenanthrolen**, deren Konstitution durch Identifizierung der mit Hilfe der **Pschorr**schen Synthese dargestellten Phenanthrole erwiesen werden konnte. — Von **Dioxyphenanthrenen** sind die 9.10- und 3.4-Verbindungen bekannt. Die erstere, das **Phenanthrenhydrochinon** ist interessant durch seine Beziehung zum Phenanthrenchinon, in das es durch oxydierende Mittel übergeht; das 3.4-Dioxyphenanthren ist ein Abbauprodukt des Morphins und führt den Namen **Morphol** (farblose Kristalle vom Schmelzpunkt 143°). — Bei der Oxydation des Phenanthrens mit Chromsäure entsteht das Phenanthrenchinon $C_{14}H_8O_2$, eine Verbindung, in der die Wasserstoffatome 9 und 10 des Phenanthrens durch Sauerstoff ersetzt sind. Es kristallisiert in orangefarbenen Nadeln vom

Digitized by Google

Schmelzpunkt 200° und ist unzersetzt destillierbar. Phenanthrenchinon ist ein typisches o-Diketon, das z. B. mit o-Diaminen zu Azinen zusammentritt



Phenanthrenchinon o-Phenylendiamin.



Phenanthrophenazin.

Es reagiert mit Phenylhydrazin unter Bildung eines Monophenylhydrazons, mit salzsaurem Hydroxylamin entsteht sowohl das Mono- wie das Dioxim. Durch schweflige Säure wird das Chinon in das Hydrochinon übergeführt; auch das Chinhydron ist bekannt. Zum Nachweis des Phenanthrenchinons dient die Laubenheimersche Reaktion: beim Schütteln einer Lösung von Phenanthrenchinon in Eisessig mit rohem (thiotolenhaltigem) Toluol und Schwefelsäure entsteht eine blaugrüne Färbung; beim Ausschütteln mit Aether färbt sich dieser stark rotviolett.

Literatur. ***V. Meyer und Jacobson,*** *Lehrbuch der organischen Chemie. 2. Band. 2. Teil. Leipzig. 1903.*

J. Meisenheimer.

Phenole.

1. Definition, Systematik, Nomenklatur. 2. Bildungsweisen. 3. Physikalisches Verhalten. 4. Chemische Eigenschaften. 5. Spezielle Phenole: a) Einwertige Phenole. b) Substituierte einwertige Phenole. c) Zweiwertige Phenole. d) Drei- und mehrwertige Phenole. e) Phenole der Polyphenylverbindungen, kondensierten Ringsysteme und heterozyklischen Verbindungen.

1. Definition, Systematik, Nomenklatur. Phenole sind Hydroxylderivate von Benzolkohlenwasserstoffen, bei denen die Hydroxylgruppe unmittelbar mit einem Kohlenstoffatom des Kerns verbunden ist. Sie gehören demnach streng genommen zu den aromatischen Alkoholen und entsprächen den tertiären Alkoholen dieser Reihe, indessen haben die vielfach besonderen und abweichenden Eigenschaften der Phenole dazu geführt, diese Körpergruppe von den aromatischen Alkoholen abzusondern und für sich zu behandeln. Unter aromatischen Alkoholen versteht man daher nur diejenigen Hydroxylderivate von Benzolkohlenwasserstoffen, welche die Hydroxylgruppe in einer Seitenkette tragen (vgl. den Artikel „Alkohole").

Die Nomenklatur der Phenole wird in einfacher Weise dadurch erzielt, daß man die Silbe „ol" an den Wortstamm eines Kohlenwasserstoffnamens anhängt (z. B. Xylenol, Cumenol), oder indem man die Substanzen nach der Genfer Nomenklatur als Oxybenzene bezeichnet; indessen existieren für die meisten Phenole sehr gebräuchliche besondere Namen. Je nach der Anzahl der Hydroxylgruppen unterscheidet man „einwertige", „zweiwertige", „dreiwertige" Phenole usw. — Verschiedene Phenole kommen im Pflanzenreich vor, meistens in Form von Aethern. Einige Phenole finden sich im Harn der Säugetiere und zwar hauptsächlich als Phenolschwefelsäuren.

2. Bildungsweisen. Phenole entstehen 1. durch trockene Destillation sauerstoffhaltiger organischer Substanzen wie Holz, Torf, Steinkohlen u. a. Besonders im Steinkohlenteer und Buchenholzteer finden sich reichlich Phenole. Sie werden durch Schütteln mit Alkalilauge dem Teer entzogen und dann aus der Lösung durch Säuren abgeschieden und durch Destillation gereinigt.

2. Durch Zersetzung von Diazoverbindungen (Diazoniumverbindungen). Erwärmt man Benzoldiazoniumsalze (am besten Chloride oder Sulfate) gelinde mit Wasser, so erhält man unter Stickstoffentwicklung Phenole:

$$C_6H_5.N_2.Cl + H_2O = C_6H_5.OH + N_2 + HCl.$$

Die Reaktion bietet einen sehr glatten Uebergang von den entsprechenden Amido- und Nitroverbindungen zu den Phenolen.

3. Durch Schmelzen von aromatischen Sulfonsäuren mit Alkali, wobei sich als Nebenprodukt neutrale schwefligsaure Salze bilden:

$$C_6H_5SO_3K + KOH = SO_3K_2 + C_6H_5OH$$
$$C_6H_4(SO_3K)_2 + 2KOH = 2SO_3K_2 + C_6H_4(OH)_2.$$

Bei dieser Reaktion treten jedoch mitunter Umlagerungen ein. So liefern alle drei Benzoldisulfonsäuren (o-, m-, p-) bei der Schmelze das m-Dioxybenzol (Resorcin). Bei Konstitutionsbestimmungen ist dies entsprechend zu berücksichtigen.

4. Beim Kochen von einigen Halogensubstitutionsprodukten aromatischer Kohlenwasserstoffe mit wässerigen Alkalien. Zwar

Digitized by Google

die einfachen Halogenderivate der Benzolkohlenwasserstoffe, wie Chlorbenzol C_6H_5Cl, Brombenzol C_6H_5Br werden hierbei kaum angegriffen; erst durch Erhitzen im Einschlußrohr auf ca. 250° findet teilweiser Umsatz statt. Enthalten die Halogenderivate der Kohlenwasserstoffe aber auch noch Nitrogruppen, so tritt die Reaktion leicht ein, und zwar um so leichter, je mehr NO_2-Gruppen die Substanz enthält:

$$Cl.C_6H_4.NO_2+KOH=HO.C_6H_4.NO_2+KCl.$$

Auch einige Nitroamidokörper werden in siedender wässerig-alkalischer Lösung in Phenole übergeführt, hauptsächlich, wenn die Substituenten in Ortho- oder Parastellung stehen, weniger bei Metastellung:

$$NH_2.C_6H_4.NO_2+HOH=HO.C_6H_4.NO_2+NH_3.$$

5. Durch Kohlendioxydabspaltung aus aromatischen Oxysäuren. Die Spaltung kann häufig schon durch Erhitzen für sich erfolgen oder durch Erhitzen mit Salzsäure im Bombenrohr oder durch trockene Destillation der Kalksalze:

$$C_6H_4(OH)COOH=C_6H_5OH+CO_2.$$

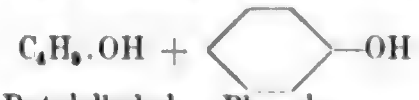
6. In sehr geringer Menge durch Einleiten von Sauerstoff in die erhitzten Kohlenwasserstoffe bei Gegenwart von Aluminiumchlorid. Auch Ozon und Wasserstoffsuperoxyd wirken in geringer Menge ähnlich oxydierend ein:

$$C_6H_6+O=C_6H_5.OH.$$

7. Durch Reduktion von Chinonen, so z. B. das Hydrochinon aus p-Benzochinon:

$$O:C_6H_4:O+H_2=HO.C_6H_4.OH.$$

8. Höhere Homologe der Phenole entstehen leicht durch Kondensation von Phenolen und Alkoholen mittels Zinkchlorid



Butylalkohol Phenol

Butylphenol.

Statt der Alkohole lassen sich auch die Chlorsubstitutionsprodukte verwenden, z. B. Benzylchlorid statt Benzylalkohol. Statt des Zinkchlorids sind auch Magnesiumchlorid oder Alkalihydrosulfate als Kondensationsmittel benutzt worden.

9. Homologe Phenole lassen sich ferner erhalten durch Addition ungesättigter Kohlenwasserstoffe an Phenol vermittels konzentrierter Schwefelsäure:

Isoamylen Phenol

Isoamylphenol

3. **Physikalische Eigenschaften.** Die Phenole sind feste kristallisierbare Substanzen. Die Anfangsglieder der Reihe besitzen einen charakteristischen unangenehmen Geruch. Der Geschmack wechselt je nach der Zahl und der Stellung der Hydroxylgruppen. Während die einfachen Phenole gewöhnlich brennend schmecken, tritt bei mehrwertigen Phenolen meist nach der Anzahl der OH-Gruppen ein mehr und mehr süßer Geschmack auf (Brenzkatechin, Phloroglucin usw.). Die Phenole sind in Wasser und auch in organischen Lösungsmitteln löslich. Im allgemeinen zeigt sich (ähnlich wie bei den Alkoholen) bei zunehmender Zahl der Hydroxylgruppen eine stärkere Löslichkeit in Wasser und dementsprechend eine geringere Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln. — Die Siedepunkte der Phenole steigen regelmäßig mit wachsendem Molekulargewicht. Eigentümlicherweise sind die Siedepunkte der Phenole und der ihnen analogen Amine fast vollständig gleich. Im Gegensatz dazu sieden die Amine der aliphatischen Reihe bei beträchtlich tieferer Temperatur als die entsprechenden Alkohole.

Phenole	Sdp.
$C_6H_5.OH$	182°
$p\text{-}C_6H_4(OH)CH_3$	198°
$p\text{-}C_6H_4(OH)C_2H_5$	219°
$1, 4, 2\text{-}C_6H_3(CH_3)_2OH$	214°
$m\text{-}CH_3.O.C_6H_4.OH$	244°
$m\text{-}C_6H_4(OH)_2$	276°
Amine	
$C_6H_5NH_2$	183°
$p\text{-}C_6H_4(NH_2)CH_3$	198°
$p\text{-}C_6H_4(NH_2)C_2H_5$	216°
$1, 4, 2\text{-}C_6H_3(CH_3)_2NH_2$	214°
$m\text{-}CH_3.O.C_6H_4.NH_2$	244°
$m\text{-}C_6H_4(NH_2)_2$	277°

und andere mehr.

Die Siedepunkte der Phenole liegen analog wie bei den Alkoholen um etwa 100° höher, als die der zugehörigen Kohlenwasserstoffe. Eine neuhinzutretende Hydroxylgruppe erhöht den Siedepunkt wiederum um ungefähr den gleichen Betrag:

C_6H_6 Sdp. 82° Benzol — C_6H_5OH Sdp. 183° Phenol

$C_6H_4(OH)_2$ Sdp. 276° Resorcin.

Auch die Schmelzpunkte der Phenole zeigen einige Regelmäßigkeit. Bei isomeren Phenolen besitzt diejenige Verbindung, welche am symmetrischsten konstituiert ist (das sind bei bisubstituierten Phenolen die Paraverbindungen, bei trisubstituierten die 1, 3, 5-Verbindungen usw.), den höchsten Schmelzpunkt:

Digitized by Google

	1, 2	1, 3	1, 4
$C_6H_4(OH).CH_3$	30°	3,5°	36°
$C_6H_4(OH).CH(CH_3)_2$	16°	48°	61°
$C_6H_4(OH).OH$	104°	110°	169°
$C_6H_4(OH).Br$	fl.	32°	64°
$C_6H_4(OH).NO_2$	45°	96°	114°
	1, 2, 3	1, 2, 4	1, 3, 5
$C_6H_3(OH)_3$	115°	140,5°	218°

Die Phenole gehören zu den Substanzen, welche im flüssigen Zustande assoziierte Moleküle bilden (der Temperaturkoeffizient der molaren Oberflächenenergie beträgt z. B. beim Phenol 1,7 statt 2,1). Im Dampfzustand verhalten sie sich meist normal. Das kryoskopische Verhalten zeigt einige Anomalien. In Benzol und Naphtalin werden nur bei sehr großen Verdünnungen normale Depressionen erzielt. Bei wachsender Konzentration werden die Molekulargewichte beträchtlich (bis etwa 1½fach) zu groß gefunden. Besonders bei parasubstituierten Phenolen tritt diese Eigentümlichkeit auf. Bei metasubstituierten Phenolen dagegen in geringerem Maße, bei Orthoderivaten noch weniger (Auwers).

Bezüglich ihres elektrolytischen Verhaltens erweisen sich die Phenole als sehr schwache Säuren. Die Phenolsalze sind in wässerigen Lösungen weitgehend hydrolytisch gespalten. Durch den Eintritt negativer Radikale in den Benzolkern wird jedoch die Säurenatur der Phenole erheblich verstärkt, besonders wenn diese Radikale in Orthostellung zur Hydroxylgruppe stehen. So sind für die Chlorphenole folgende Dissoziationskonstanten bei 25° bestimmt worden:

	K
Phenol	$1{,}3 \times 10^{-10}$
p-Chlorphenol	$4{,}1 \times 10^{-10}$
o-Chlorphenol	$7{,}7 \times 10^{-10}$
2,4-Dichlorphenol-1	$1{,}3 \times 10^{-8}$
2, 4, 6-Trichlorphenol-1	$2{,}6 \times 10^{-8}$

Stärker noch als die Halogone wirkt die Nitrogruppe azidifizierend:

	K
p-Nitrophenol	$7{,}0 \times 10^{-8}$
2,4-Dinitrophenol-1	$8{,}0 \times 10^{-5}$
2,6-Dinitrophenol-1	$1{,}74 \times 10^{-4}$

Das 2-, 4-, 6-Trinitrophenol (Pikrinsäure) gehört zu den stärksten Säuren, die es gibt.

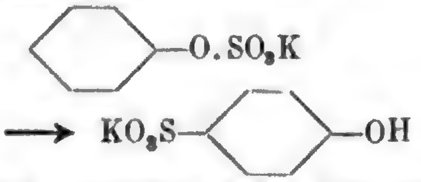
4. Chemische Eigenschaften. Die Phenole zeigen in vielen Punkten das Verhalten tertiärer Alkohole, weichen aber von allen Alkoholen hauptsächlich dadurch ab, daß sie den Charakter schwacher Säuren haben. Wie bei den Alkoholen ist bei den Phenolen das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe durch Metall ersetzbar; die entstehenden Verbindungen, die „Phenolate", sind aber im Gegensatz zu den Alkoholaten gegen Wasser ziemlich beständig. Daher lösen sich die Phenole in wässerig-alkalischen Lösungen glatt auf. Da die Phenole aber nur sehr schwache Säuren sind, reagieren die wässerigen Lösungen der Phenolate alkalisch; auch werden sie durch Kohlensäure schon bei gewöhnlicher Temperatur leicht zerlegt. Das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe läßt sich mit Hilfe der Phenolate noch durch mannigfache Radikale ersetzen. So entstehen durch Einwirkung von Alkylhalogenen oder Alkylsulfaten Phenoläther (vgl. den Artikel „Aether").

$$C_6H_5.ONa + JCH_3 = C_6H_5.O.CH_3 + NaJ$$
$$C_6H_5.ONa + SO_4(CH_3)_2 = C_6H_5.O.CH_3 + SO_4NaCH_3.$$

Bei Einwirkung von Säuren auf die Phenolate entstehen Säureester der Phenole. Bei Schwefelsäure und Salpetersäure bilden sich diese Ester zwar nicht, sondern es entstehen mit größter Leichtigkeit im Kern substituierte Verbindungen wie $C_6H_4(SO_3H)OH$ und $C_6H_4(NO_2)OH$. Indessen läßt sich der Schwefelsäureester mittels Kaliumpyrosulfat gewinnen:

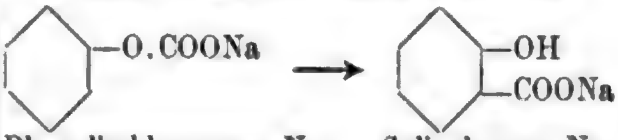
$$K_2S_2O_7 + C_6H_5.OK = K_2SO_4 + C_6H_5.O.SO_3K$$

Die entstandene Verbindung lagert sich aber sehr leicht beim Erwärmen in das Salz einer Sulfosäure um:



Aehnlich entstehen beim Ueberleiten von Kohlensäure über trockene Alkaliphenolate Salze von sauren Phenolkohlensäureestern. Durch Erhitzen werden diese Salze in Phenolcarbonsäuresalze umgelagert. Dieser Prozeß wird im großen zur Darstellung von Salicylsäure aus Phenol verwendet:

$$C_6H_5.ONa + CO_2 = C_6H_5.O.COONa$$



Phenylkohlensaures Na   Salicylsaures Na.

Analog wie Kohlendioxyd wird auch Schwefeldioxyd von den Phenolaten leicht addiert unter Bildung von sauren Phenolschwefelsäureestern

$$C_6H_5.ONa + SO_2 = C_6H_5.O.SOONa.$$

Die Phenolester der organischen Säuren bilden sich meistens sehr glatt. Zu ihrer Darstellung erwärmt man zweckmäßig 3 Mol Phenol, 3 Mol Säure und 1 Mol Phosphoroxychlorid, oder läßt die Säurechloride auf die Phenole einwirken. Phenolacetate gewinnt man leicht durch Erhitzen mit Essigsäureanhydrid bei Gegenwart von entwässertem Natriumacetat.

Die Hydroxylgruppe in den Phenolen läßt sich durch mannigfache Radikale aus-

Digitized by Google

tauschen. So entstehen durch Einwirkung von Phosphorpentachlorid oder -bromid Halogenkohlenwasserstoffe

$$C_6H_3(CH_3)(C_3H_7)OH + PCl_5 = C_6H_3(CH_3)(C_3H_7).Cl + POCl_3 + HCl.$$

Bei den substituierten Phenolen (namentlich den Nitrophenolen) vollzieht sich die Reaktion leichter als bei den einfachen Phenolen. — Mittels Schwefelphosphor entstehen in analoger Weise Thiophenole. — Gegen die Amidgruppe läßt sich die Hydroxylgruppe in den Phenolen durch Erhitzen mit Chlorzinkaminen (Chlorzinkammoniak) und Chlorcalciumaminen ersetzen:

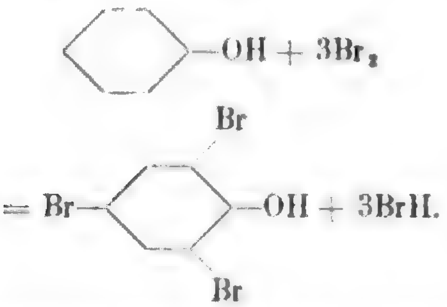
$$C_6H_5.OH + NH_3 = C_6H_5.NH_2 + H_2O.$$

Ein Austausch der Hydroxylgruppe gegen die CN-Gruppe läßt sich durch Erhitzen der Phenolphosphorsäureester mit Cyankalium erzielen:

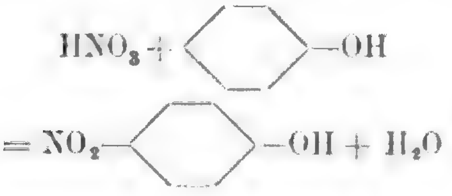
$$(C_6H_5)_3PO_4 + 3CNK = 3C_6H_5.CN + K_3PO_4.$$

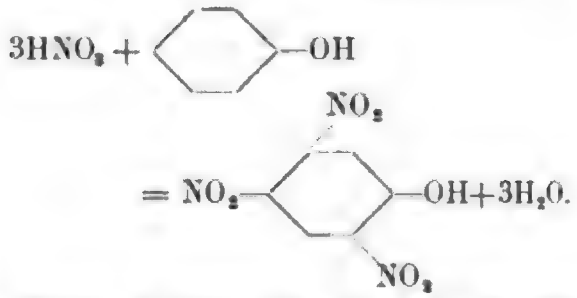
Beim Erhitzen mit Zinkstaub wird schließlich die Hydroxylgruppe durch Wasserstoff ersetzt und es entstehen die zugehörigen Kohlenwasserstoffe.

Eine andere Gruppe von Reaktionen bei den Phenolen wird veranlaßt durch die leichte Substituierbarkeit der Wasserstoffatome im Kern. Die Substitution tritt viel leichter ein als bei den Benzolkohlenwasserstoffen und man kann so leicht Halogenatome, Nitro- und Nitrosogruppen, Azogruppen usw. in den Kern einführen. Brom gibt z. B. mit Phenol Tribromphenol, eine Reaktion, die so glatt verläuft, daß sie zur maßanalytischen Bestimmung des Phenols benutzt werden kann:

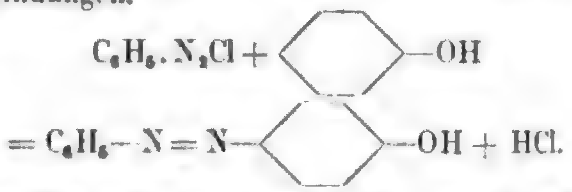


Salpetersäure erzeugt mit Phenolen, Nitrophenole. Je nach der Konzentration der Säure treten eine oder mehrere Nitrogruppen ein:



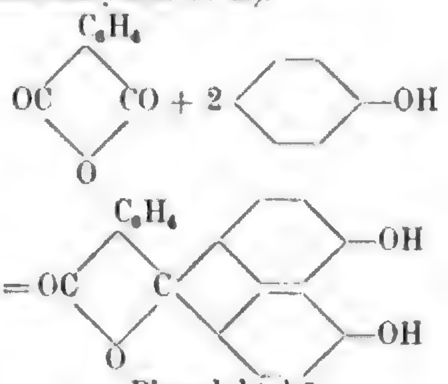


Durch Kombination der Phenole mit Diazoverbindungen entstehen Oxyazoverbindungen.



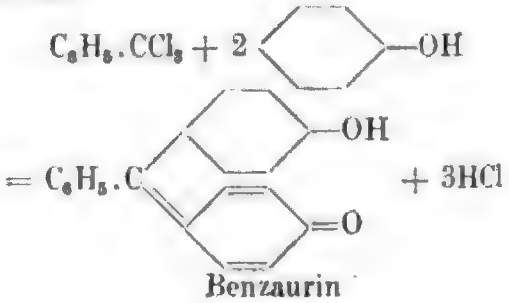
Diese Reaktion wird in der Technik in großem Maßstabe und in den allerverschiedensten Variationen ausgeführt. Die entstehenden Produkte bilden sehr geschätzte Farbstoffe (Azofarbstoffe). Die Azogruppe tritt bei den Phenolen in Parastellung, wenn diese besetzt ist in Orthostellung ein. Zuweilen lassen sich auch zwei Azogruppen in den Kern einführen. In der Praxis benutzt man für diese Reaktion meistens die Phenole der Naphtalin-Reihe, die Naphtole.

Eine andere Klasse von Farbstoffen, die Phtaleïne, entstehen aus den Phenolen durch Kondensation mit Phtalsäureanhydrid (Bernsteinsäureanhydrid u. a.).



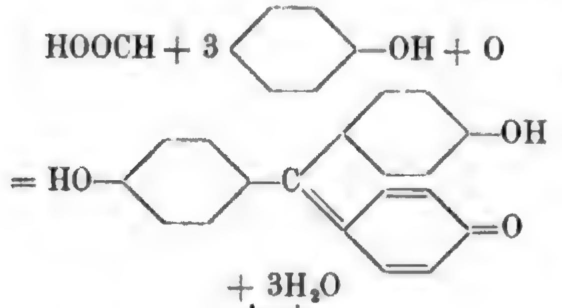
Phenolphtaleïn

Eine ähnliche Farbstoffgruppe, welche auch den Triphenylmethanfarbstoffen angehört, wird erhalten durch Kombination der Phenole mit Benzotrichlorid, Ameisensäure und anderen. Es entstehen Benzeïne, bezw. Aurine:



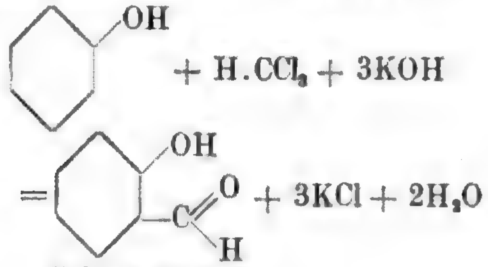
Benzaurin

Digitized by Google



Aurin.

Durch Kondensation von Phenolen in alkalischer Lösung mit Chloroform entstehen aromatische Oxyaldehyde (Aldehydsynthese von Reimer-Tiemann).



Salicylaldehyd.

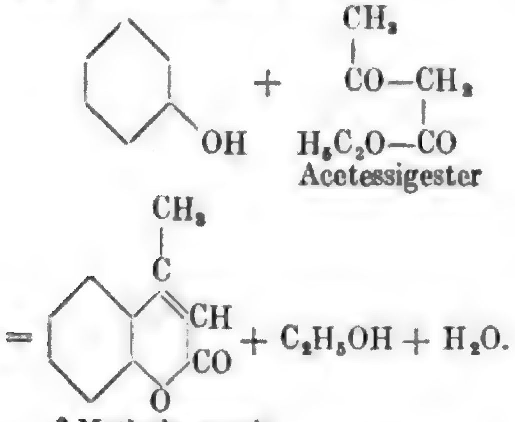
Wendet man statt Chloroform Tetrachlorkohlenstoff an, so bilden sich die entsprechenden aromatischen Oxycarbonsäuren.

Durch Erhitzen mit Methylenchlorid oder mit Formaldehyd bei Gegenwart von Alkalilauge erhält man aus den Phenolen die Phenolalkohole (vgl. den Artikel „Alkohole"):

$$C_6H_5.OH + CH_2O = C_6H_4\left\langle\begin{matrix}OH\\CH_2OH\end{matrix}\right.$$

Durch Kondensation mit Alkoholen und Chlorzink oder Alkylenen und Schwefelsäure werden Kernwasserstoffatome in den Phenolen durch Alkyl-Radikale substituiert und es entstehen homologe Phenole, wie oben mitgeteilt (siehe oben Bildungsweisen).

Eine gleichzeitige Substitution von Wasserstoff und Hydroxyl tritt bei der Reaktion der Phenole mit Acetessigester und ähnlichen Verbindungen bei Gegenwart von konzentrierter Schwefelsäure ein



β-Methylcumarin.

Die entstehenden Produkte gehören zu einer Gruppe heterocyklischer Substanzen, welche man mit dem Namen „Cumarine" zusammenfaßt.

Besondere Eigentümlichkeiten bieten die Oxydations-Reaktionen bei den Phenolen. Beim einfachsten Phenol bedingen Permanganat und Chromsäure eine Sprengung des Kerns und man erhält neben Kohlendioxyd Mesoweinsäure und Oxalsäure. Eine Oxydation des Phenols tritt auch ein beim Schmelzen mit Alkalien, wobei der Luftsauerstoff an der Reaktion teilnimmt. Diese Oxydation verläuft aber anders, nämlich unter Bildung von mehrwertigen Phenolen. Eigentümlicherweise wirken Aetzkali und Aetznatron verschieden. Mit Natron entsteht aus Phenol: Resorcin, Brenzkatechin und Phloroglucin. Durch Schmelzen mit Kali werden Dioxyderivate des Diphenyls erhalten:

$$2C_6H_5OH + O = HO.C_6H_4—C_6H_4.OH$$

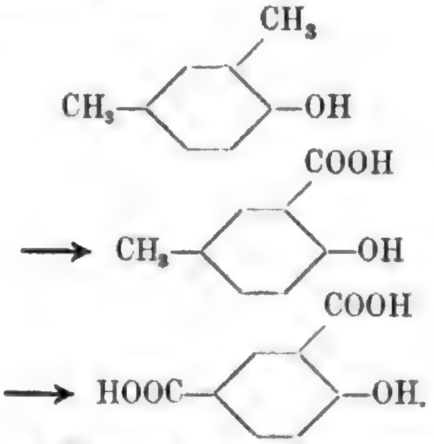
Dioxydiphenyl.

Mehrwertige Phenole können aus einwertigen auch durch Oxydation mittels Wasserstoffsuperoxyd und Persulfat erhalten werden. — Auch die Homologen des Phenols kann man nicht mit Permanganat oder Chromsäure zu Phenolcarbonsäuren oxydieren. Es gelingt dies aber, wenn man den Hydroxylwasserstoff im Phenol durch Alkyle oder durch Säureradikale substituiert. Am besten eignen sich die sauren Schwefelsäure- und Phosphorsäureester hierzu:

$$C_6H_4\left\langle\begin{matrix}OSO_3K\\CH_3\end{matrix}\right. \longrightarrow C_6H_4\left\langle\begin{matrix}OH\\COOH\end{matrix}\right.$$

p-Kresylschwefelsaures Kalium — p-Oxybenzoësäure

Eine direkte Oxydation der Phenolhomologen läßt sich durch Schmelzen mit Alkali erzielen. Sind mehrere Seitenketten vorhanden, so wird gewöhnlich diejenige zuerst oxydiert, welche der Hydroxylgruppe am nächsten steht:



Einige Phenole gehen bei vorsichtiger Oxydation in Chinone über, so p-Dioxybenzol in Benzochinon, Thymol in Thymochinon.

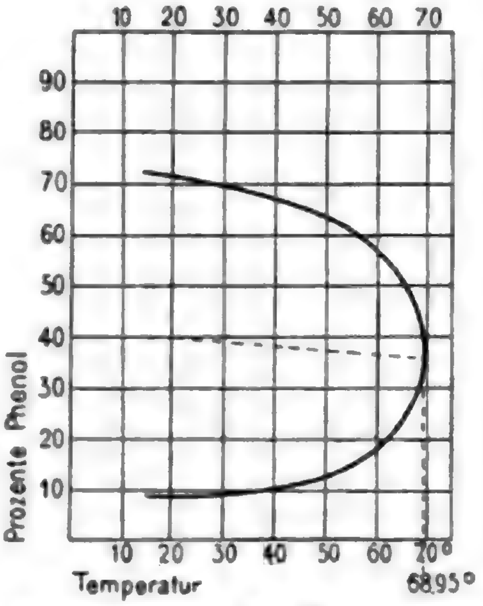
Im allgemeinen kann man sagen, daß die Oxydierbarkeit der Phenole wächst mit

der Anzahl der Hydroxylgruppen. Die Oxydation wird wesentlich erleichtert durch Anwesenheit von Alkali. So färbt sich Natriumphenolat schon nach kurzer Zeit braun durch Oxydation und Lösungen mehrwertiger Phenole (z. B. Pyrogallol), in Alkali sind direkt Sauerstoff absorbierende Mittel. Auch Chlor und Brom wirken, wenn sie im Ueberschuß und bei Gegenwart von Natronlauge angewendet werden, oxydierend auf die Phenole ein, indem entweder der Kohlenstoffring gesprengt wird oder Ketochloride entstehen, die sich vom Di- und Tetrahydrobenzol ableiten.

Die Phenole sind noch durch einige charakteristische Farbenreaktionen ausgezeichnet. So geben sie in wässeriger Lösung mit Eisenchlorid rote, violette, blaue und grüne Färbungen. Mit salpetrigsäurehaltiger konzentrierter Schwefelsäure entstehen Farbstoffe, die sich meist mit blauer Farbe in der Schwefelsäure lösen. Aehnlich wie die salpetrige Säure wirken auch Nitrosoverbindungen und Diazokörper, so daß man eine Lösung von Phenol in Schwefelsäure als Reagenz auf diese Stoffe benutzen kann. Zu diesem Zwecke fügt man die fragliche Substanz zur Phenol-Schwefelsäure-Mischung, erwärmt gelinde, gießt dann in Wasser und übersättigt mit Alkali, wobei bei positivem Ausfall der Probe eine „königsblaue" Lösung entsteht (Liebermannsche Reaktion der Nitrosoverbindungen). — Ferner entstehen wie oben gesagt bei der Kondensation der Phenole mit Pthalsäureanhydrid und mit Diazokörpern Farbstoffe, welche sich auch zum Nachweis kleiner Mengen eignen.

5. Spezielle Phenole. 5a) Einwertige Phenole. — Phenol, Oxybenzen, Karbolsäure $C_6H_5.OH$, wurde 1834 von Runge im Steinkohlenteer aufgefunden und Kohlenölsäure (Karbolsäure) benannt. Kristallisiert wurde das Phenol zuerst von Laurent 1841 erhalten, der der Substanz den Namen hydrate de phenyle oder acide phénique gab (von *φαίνω* leuchte), um anzudeuten, daß die Substanz bei der Leuchtgasgewinnung erhalten wird. Der Name Phenol stammt von Gerhardt, welcher dadurch die Alkoholnatur der Verbindung kennzeichnen wollte. — Zur Darstellung des Phenols können die oben genannten allgemeinen Bildungsweisen verwendet werden. Zur Gewinnung des Phenols im großen wird das bei der Leuchtgasfabrikation abfallende Steinkohlenteeröl mit Natronlauge durchgeschüttelt, aus der wässerigen Lösung durch Schwefelsäure oder Kohlensäure das Phenolgemenge als dunkles Oel wieder abgeschieden und darauf durch fraktionierte Destillation und Kristallisation gereinigt.

Das Phenol bildet große weiße prismenförmige Kristalle. Beim Aufbewahren färbt sich das Phenol des Handels, wenn Licht und feuchte Luft hinzutreten können, allmählich rötlich, was vielleicht auf Oxydation beruht. Das Phenol schmilzt bei 42,5° und siedet bei 183°. $d_{33,9^0} = 1{,}0597$, n_D bei 21° = 1,5509. Phenol wird von 15 Teilen Wasser bei 16° gelöst, umgekehrt vermag es auch selbst Wasser zu lösen. Die kritische Mischungstemperatur liegt bei 68,95°. Die Löslichkeitsverhältnisse in Wasser werden durch folgende Figur erläutert:



Die Erniedrigung der Gefriertemperatur, die ein Gramm-Mol einer sich normal verhaltenden Substanz in 100 g Phenol verursacht, beträgt 74°. Diese hohe molekulare Gefrierpunktsdepression macht es erklärlich, daß Phenol schon durch wenige Prozente Wasser bei gewöhnlicher Temperatur flüssig wird („zerfließt"). Die Depression des Schmelzpunkts durch 1% Wasser beträgt zirka 4,2°. — Die molekulare Siedepunktserhöhung beträgt 30,4°. Die Verbrennungswärme des Phenols bei konstantem Druck ist zu 736,0 Cal ermittelt. Daraus berechnet sich für die Bildungswärme +36,8 Cal (fest) bezw. 34,5 Cal (flüssig). — Das Phenol besitzt charakteristischen Geruch, schmeckt sehr brennend und ist giftig. Es besitzt stark antiseptische Eigenschaften (Lister 1867) und wird in Form einer 3prozentigen Lösung (Aqua carbolisata) vielfach zur Desinfektion benutzt. Auf der Haut wirkt Phenol ätzend, erzeugt weiße Flecken und Gefühllosigkeit. Durch Abwaschen mit Alkohol kann man diese Erscheinungen verhüten. Mit Eisenchloridlösung erzeugt Phenol eine Violettfärbung, die aber bei starker Verdünnung und auch bei Gegenwart von Alkohol nicht mehr eintritt. Durch Permanganatlösung wird das Phenol weitgehend oxydiert. Aus den Oxydationsprodukten ist die Mesoweinsäure isoliert worden. Sehr eigentümlich verläuft die

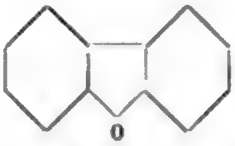
Digitized by Google

Einwirkung von Chlor bei Gegenwart von Natronlauge. Unter Sprengung des Sechsringes und darauf folgender Bildung eines Fünfringes entsteht unter anderem Trichlor-R-pentendioxycarbonsäure

$$\begin{array}{l} HOC-CCl_2 \quad\;\; COOH \\ \| \qquad\qquad > C < \\ ClC-CH_2 \qquad\;\; OH \end{array}$$

(**Hantzsch**, Ber. 22, 2827 [1889]).

Durch Destillation des Phenols über Bleioxyd entsteht Diphenylenoxyd (Dibenzofurfuran).



Die übrigen Reaktionen des Phenols sind schon im allgemeinen Teil dargelegt. Die quantitative Bestimmung des Phenols geschieht meistens durch Ueberführung in Tribromphenol mittels Brom. Das überschüssige Brom wird mittels Jodkalium und Thiosulfat zurücktitriert. Das Phenol findet Verwendung als Desinfektionsmittel und ferner als Ausgangsmaterial für die technische Darstellung einiger wichtiger Präparate wie Salicylsäure, Phenacetin, Pikrinsäure und einige Farbstoffe.

Phenolate. — **Natriumphenolat** $C_6H_5O.Na$ wird erhalten durch Auflösen von äquivalenten Mengen Natrium und Phenol in absolutem Alkohol und Abdestillieren des Alkohols im trockenen Wasserstoffstrom. Es bildet eine weiße kristallinische und harte Masse, welche stark hygroskopisch ist und sich an der Luft rasch oxydiert. Bei gewöhnlicher Temperatur nimmt das Salz Kohlensäure auf und geht in Phenylkohlensaures Natrium über (siehe Salicylsäuredarstellung). Durch Wasser wird dieses Produkt sofort unter Kohlendioxydabspaltung zerlegt. — Kaliumphenolat erhält sich ganz analog wie Natriumphenolat. Die übrigen Phenolate haben keine Bedeutung.

Kresole, Oxytoluole, Methyl-oxy-benzene $C_6H_4(CH)_3OH$. Die drei Kresole finden sich neben dem Phenol im Steinkohlen- und Buchenholzteer und fallen bei der Darstellung des Phenols als Nebenprodukte in Form dunkler öliger Flüssigkeiten ab. Dieses Gemisch der Kresole wird gewöhnlich nach einer einmaligen Destillation direkt verwendet unter dem Namen „rohe Karbolsäure". Die Kresole sind wie Phenol starke Desinfektionsmittel und haben daher ihren Namen (κρέας Fleisch, σώζειν bewahren). Lösungen der Kresole in Wasser oder verdünnten Alkalien (Seifenlösungen) kommen im Handel unter verschiedenen Namen vor, z. B. **Lysol** (Lösung von Rohkresol in Oelseife), **Kreolin** (Lösung von Rohkresol in verdünnter Natronlauge), **Sapokarbol**, **Solveol**, **Kresolin** usw. **Trikresol** ist ein von Naphtalin, welches von der Darstellung her gewöhnlich als Verunreinigung vorhanden ist, befreites Kresolgemisch. Die Trennung der drei Isomeren Kresole ist schwierig und wird in der Praxis kaum ausgeführt. Zur Reindarstellung der einzelnen Kresole geht man am besten von den entsprechenden Toluidinen aus. — **o-Kresol** läßt sich aus o-Toluolsulfosäure durch Schmelzen mit Kali, ferner aus o-Toluidin vermittels der Diazoreaktion gewinnen. Es entsteht auch durch Erhitzen von Carvacrol (siehe unten) mit Phosphorpentoxyd. Fp. 30°, Sdp. 191° $d_{22°}$ 1,043. Durch Eisenchlorid wird die o-Kresol-Lösung blau gefärbt. Beim Schmelzen mit Kali entsteht Salicylsäure. Aus o-Kresolnatrium und Kohlensäure läßt sich o-Kresolinsäure erhalten. — **m-Kresol** wird erhalten beim Erhitzen von Thymol (siehe unten) mit Phosphorpentoxyd. Fp. 4°, Sdp. 203°, $d_{13,6°}$ 1,035. Mit Eisenchlorid gibt m-Kresol eine blauviolette Färbung. — **p-Kresol** findet sich im Kuh- und Pferdeharn, bei pathologischen Zuständen auch im Menschenharn in Form von Kresylschwefelsäuren (die Phenole des Pferdeharns bestehen bis zu 85% aus p-Kresol). Das p-Kresol bildet sich bei der Fäulnis von Eiweißkörpern und Spaltungsprodukten derselben wie Tyrosin $HO.C_6H_4.CH_2CH(NH_2)COOH$, Hydrocumarsäure $HO.C_6H_4CH_2.CH_2COOH$, p-Oxyphenylessigsäure $OH.C_6H_4.CH_2.COOH$ und anderen. p-Kresol bildet weiße Prismen Fp. 35°, Sdp. 202°, $d_{7,7°}$ 1,034. Die wässerige Lösung wird durch Eisenchlorid blau gefärbt. Durch Schmelzen mit Kali wird p-Oxybenzoesäure gebildet.

o-Aethylphenol, Phlorol, $HO.C_6H_4.C_2H_5$, flüssig, Sdp. 202 bis 203° d_0 1,037.
m-Aethylphenol, Fp. —4°, Sdp. 214°, d_0, 1,040.
p-Aethylphenol, Fp. + 45°, Sdp. 219°.
1,2-Xylenol-3, Fp. 73°, Sdp. 213°.
1,2-Xylenol-4, Fp. 65°, Sdp. 222.
1,3-Xylenol-2, Fp. 49°, Sdp. 212°.
1,3-Xylenol-4, Fp. 25°, Sdp. 209°.
1,4-Xylenol-2, Fp. 75°, Sdp. 209.

1,3-Xylenol-5 ist synthetisch aufgebaut worden aus Acetessigester und Acetaldehyd (**Knoevenagel**).

$$CH_3.CHO + 2CH_3.CO.CH_2COOC_2H_5 = H_2O$$

$$\begin{array}{l} \qquad\qquad\qquad\quad CO_2C_2H_5 \\ \quad CH_3.CO.CH< \\ + \qquad\qquad\qquad\quad > CH.CH_3 \\ \quad CH_3.CO.CH< \\ \qquad\qquad\qquad\quad CO_2C_2H_5 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \qquad\quad CO-CH_2 \\ = CH< \qquad\qquad > CH-CH_3 \\ \qquad\quad C--CH_2 \\ \qquad\quad | \\ \qquad\quad CH_3 \end{array}$$

$$+ 2CO_2 + 2C_2H_5OH + H_2O.$$

Digitized by Google

Das entstandene Produkt addiert 2 Atome Brom, welche beim Erwärmen als Bromwasserstoff abgespalten werden und so das Xylenol liefern. Große glänzende Kristalle, Fp. 68°, Sdp. 219°.

Mesitol, 1,3,5-Trimethyl-2-Oxybenzol $(CH_3)_3C_6H_2.OH$, Fp. 70° bis 71°, Sdp. 219°.

Cumenol (Pseudocumenol), 1,2,4-Trimethyl-5-Oxybenzol $(CH_3)_3C_6H_2.OH$, Fp. 73°, Sdp. 234° bis 235°.

p-Propylphenol, $C_3H_7.C_6H_4.OH$, flüssig, Sdp. 232°.

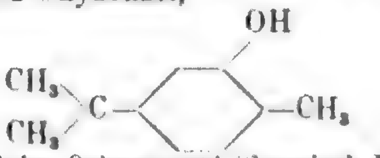
p-Isopropylphenol, $C_3H_7.C_6H_4.OH$, Fp. 61°, Sdp. 229°.

Chavicol, p-Propenylphenol, $CH_2:CH.CH_2.C_6H_4OH$ findet sich im Betelblätteröl, Sdp. 237°, d_{12} 1,023, der Methylester heißt Estragol.

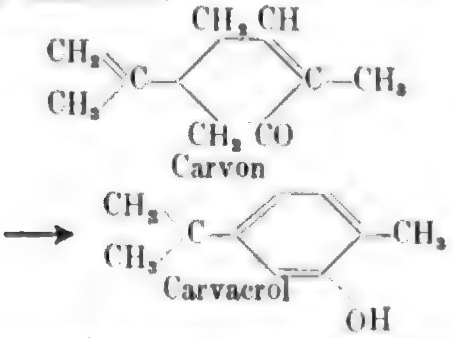
Anol, p-Propenylphenol, $CH_3.CH:CH.C_6H_4OH$, Kristallblättchen, Fp. 93°. Der Methyläther dieses Phenols ist das Anethol.

Durenol, 1,2,4,5-Tetramethyl-3-Oxybenzol, Fp. 117°, Sdp. 249° bis 250°.

Carvacrol, Cymophenol, 1-Methyl-4-Isopropyl-2-Oxybenzol,



findet sich im Origanumöl (Spanisch-Hopfenöl) bis zu 80% und im ätherischen Oel von Satureja hortensis (Pfefferkraut) bis zu 30%. Es läßt sich leicht herstellen aus dem Carvon (auch Carvol genannt), einer dem Carvacrol isomeren Substanz, die im Kümmelöl als Hauptbestandteil vorhanden ist. Die Isomerisierung läßt sich durch Erhitzen mit Phosphorsäure oder durch Erhitzen des Carvonhydrochlorids mit etwas Zinkchlorid ausführen:

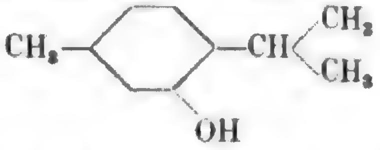


Carvon

Carvacrol

Carvacrol entsteht auch durch längeres Erhitzen von Kampfer mit Jod. Es bildet bei gewöhnlicher Temperatur ein dickflüssiges Oel, Fp. 0°, Sdp. 237, d_{15}, 0,9856. Die alkoholische Lösung wird durch Eisenchlorid grün gefärbt. Durch Erhitzen mit Phosphorpentoxyd wird Propylen abgespalten unter Bildung von o-Kresol, woraus sich die Konstitution des Carvacrols ergibt. Beim Erhitzen mit Schwefelphosphor entsteht der zugrunde liegende Kohlenwasserstoff, das Cymol $C_{10}H_{14}$.

Thymol, 1-Methyl-4-isopropyl-3-oxybenzol findet sich neben Cymol und Thymen



$(C_{10}H_{16})$ im Thymianöl von Thymus vulgaris, im Oel der Früchte von Ptychotis ajowan und von Monarda punctata. Es wird aus diesen Oelen durch Schütteln mit Natronlauge und Fällen der filtrierten Lösung mit Salzsäure gewonnen. Das Thymol bildet große, farblose, durchsichtige, monokline oder hexagonale Prismen von thymianähnlichem Geruch, Fp. 51,5°, Sdp 231,8° d_0 0,9941 (flüssig). Das Thymol löst sich bei 15° in zirka 1200 Teilen Wasser und ist leicht löslich in Alkohol, Aether und Eisessig. Die wässerige Lösung wird durch Eisenchlorid nicht gefärbt und gibt mit Bromwasser nur eine milchige Trübung. Beim Erhitzen mit Phosphorpentoxyd entsteht Propylen und m-Kresol (Konstitutionsnachweis), mit Schwefelphosphor Cymol. Beim Destillieren mit Braunstein und verdünnter Schwefelsäure entsteht Thymochinon $CH_3.C_6H_2(C_3H_7)O_2$. Von neutralen Eisenoxydsalzlösungen wird Thymol zu Dithymol $C_{20}H_{24}(OH)_2$ oxydiert. Das Thymol findet Verwendung als antiseptisches Mittel. Jodderivate des Thymols, welche durch Behandeln mit Jod und Alkalilauge entstehen, werden als Ersatz für Jodoform unter dem Namen Aristol (auch Annidalin) benutzt.

p-Tertiärbutylphenol, $(CH_3)_3C.C_6H_4.OH$, Fp. 99°, Sdp. 238°.

p-Tertiäramylphenol, $(C_2H_5)(CH_3)_2C.C_6H_4.OH$, Fp. 93° bis 94°, Sdp. 265° bis 267°.

Naphtole siehe Naphtalin-Gruppe.

5b) Substituierte einwertige Phenole. 1. Halogenphenole. Die halogensubstituierten Phenole bilden sich sehr leicht. So fällt Bromwasser aus einer wässerigen Lösung von Phenol sehr leicht Tribromphenol $C_6H_2(Br_3)OH$. Bei Jodierungen der Phenole wirkt Gegenwart von Alkali günstig. Im allgemeinen können die Halogenphenole ganz analog wie die nicht substituierten Phenole aus den entsprechenden Aminen, Phenolcarbonsäuren, Sulfosäuren usw. bereitet werden. Die Halogenphenole sind stärker sauer als die einfachen Phenole. Beim Schmelzen mit Alkalihydraten wird das Halogen durch die Hydroxylgruppe ersetzt. Hierbei tritt aber besonders bei hoher Temperatur häufig Umlagerung ein. So liefern alle drei Monochlorphenole bei der Kalischmelze Resorcin. Die Brom- und Jodphenole, die schon bei niederer Temperatur reagieren, verhalten sich dagegen normal.

Digitized by Google

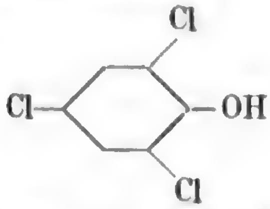
o-Chlorphenol, $C_6H_4Cl.OH$, unangenehm riechendes Oel, Fp. +7°, Sdp. 175 bis 176°.

m-Chlorphenol, Fp. 28,5°, Sdp. 214°.

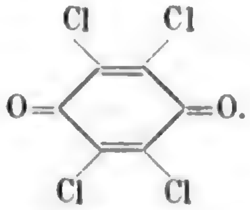
p-Chlorphenol, Fp. 37°, Sdp. 217°, besitzt unangenehmen und lang anhaftenden Geruch.

2,4-Dichlorphenol-1, $C_6H_3Cl_2.OH$, Fp. 43°, Sdp. 209 bis 210°.

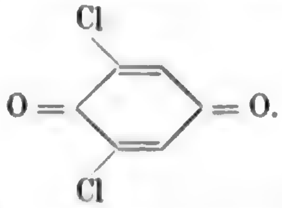
2,4,6-Trichlorphenol-1



entsteht bei Einwirkung von Natriumhypochlorit auf wässerige Phenollösungen. Fp. 67° bis 68°, Sdp. 244°, schwer löslich in Wasser. Durch Eisenchlorid wird es in 1,2,3,5-Tetrachlorbenzol übergeführt. Bei der Oxydation mit Kaliumchlorat und Salzsäure oder Chromsäure und Eisessig entsteht Chloranil (Tetrachlorchinon)



Beim Behandeln mit kalter, salpetrige Säure enthaltender Salpetersäure bildet sich Dichlorchinon



2,3,4,6-Tetrachlorphenol-1, $C_6HCl_4.OH$, Fp. 65,5°.

Pentachlorphenol, $C_6Cl_5.OH$, Fp. 187°.

p-Bromphenol, $C_6H_4Br.OH$, Fp. 64°, Sdp. 238°.

2,4-Dibromphenol-1, $C_6H_3Br_2.OH$, Fp. 40°, Sdp. 238 bis 239°.

2,4,6-Tribromphenol-1, $C_6H_2Br_3.OH$, Fp. 92°, in Wasser schwer löslich.

p-Jodphenol, $C_6H_4J.OH$, lange Nadeln, Fp. 92°.

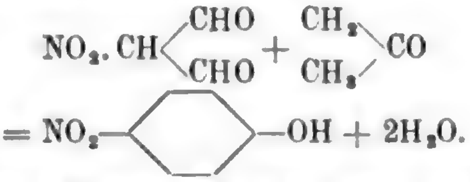
2,4,6-Trijodphenol-1, Fp. 156°.

2. Nitrophenole. Die Phenole lassen sich sehr leicht nitrieren. Die entstehenden kristallinischen Verbindungen sind farblos oder gelb und von erheblich stärkerem Säurecharakter als die Phenole selbst. Sie zersetzen kohlensaure Alkalien, und ihre Aether werden im Gegensatz zu den gewöhnlichen Phenoläthern durch alkoholisches Kali leicht verseift. Die Nitrophenolsalze sind alle intensiv farbig (Anwendung als Indikatoren).

o-Nitrophenol, $C_6H_4(OH)NO_2$, bildet sich neben p-Nitrophenol bei der Nitrierung von Phenol. Schwefelgelbe, charakteristisch riechende Nadeln, Fp. 45°. Sdp. 214°, welche in kaltem Wasser wenig, in heißem reichlich löslich sind. Das o-Nitrophenol ist mit Wasserdämpfen leicht flüchtig, wodurch es sich leicht von dem nicht flüchtigen p-Nitrophenol trennen läßt. Es wird in der Technik als Zwischenprodukt für die Darstellung mancher Farbstoffe und Arzneimittel benutzt.

m-Nitrophenol entsteht nicht bei der Nitrierung von Phenol. Es läßt sich jedoch mittels der Diazoreaktion aus m-Nitroanilin gewinnen. Gelbe Kristalle Fp. 96°, $Sdp._{70\,mm}$ 194°.

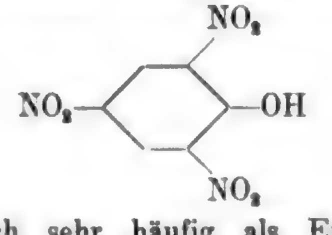
p-Nitrophenol entsteht neben o-Nitrophenol bei der Nitrierung von Phenol und zwar in um so größerer Menge, je niedriger die Temperatur bei der Reaktion gehalten wird. Auch durch Kochen von p-Nitrochlorbenzol oder α-Nitroanilin mit Alkalien läßt es sich erhalten. Synthetisch ist es durch Kondensation von Nitromalonaldehyd mit Aceton gewonnen worden:



Das p-Nitrophenol bildet lange, farblose und geruchlose Nadeln, Fp. 114°, welche in Wasser ziemlich löslich sind, dagegen sich mit Wasserdämpfen nicht verflüchtigen. Das Kaliumsalz ist gelb. In der Technik dient das p-Nitrophenol in Form seines Aethyläthers zur Gewinnung des Phenacetins $CH_3.CO.NH.C_6H_4.OC_2H_5$.

2,4-Dinitrophenol-1, $C_6H_3(OH)(NO_2)_2$, hellgelbe Nadeln, Fp. 114°.

Pikrinsäure, 2,4,6-Trinitrophenol-1



bildet sich sehr häufig als Endprodukt der Oxydation mit Salpetersäure aus allen möglichen Substanzen der aromatischen Reihe und ist daher früh bekannt gewesen. 1771 wurde die Pikrinsäure zuerst von Woulfe bei der Einwirkung von Salpetersäure auf Indigo erhalten. Liebig nannte die Substanz Kohlenstickstoffsäure; später erhielt sie wegen ihres bitteren Geschmacks den Namen Pikrinsäure (πικρός

Digitized by Google

bitter). Technisch wird die Pikrinsäure aus Phenol hergestellt, indem man letzteres erst durch Erhitzen mit Schwefelsäure in Phenolsulfosäure überführt und dann die wässerige Lösung der Sulfosäure mit konzentrierter Salpetersäure behandelt. Es tritt hierbei eine heftige Reaktion ein und aus dem Reaktionsgemisch kristallisiert später beim Erkalten das Trinitrophenol aus.

Die Pikrinsäure bildet hellgelbe glänzende Blättchen, Fp. 122,5°. Sie sublimiert beim vorsichtigen Erhitzen unzersetzt, verpufft dagegen beim raschen Erhitzen. In Wasser ist sie schwer löslich (100 Teile Wasser lösen 1,2 Teile Pikrinsäure bei 20°), in Alkohol, Aether und Benzol dagegen leicht. Die Lösungen haben gelbe Farbe, nur in absolutem Aether löst sich die Pikrinsäure farblos. Charakteristisch ist für die Säure der äußerst bittere Geschmack. Seide und Wolle werden durch Pikrinsäure intensiv gelb gefärbt. Von den Salzen der Pikrinsäure zeichnet sich das Kaliumsalz durch eine charakteristische Schwerlöslichkeit aus. Kaliumcyanid ruft in einer wässerigen Pikrinsäurelösung eine intensive Rotfärbung hervor (empfindliche Reaktion). Die Pikrinsäure bildet mit fast allen organischen Basen gut kristallisierende Salze, vereinigt sich ferner aber auch eigentümlicherweise mit aromatischen Kohlenwasserstoffen (Benzol, Naphtalin u. a.) zu wohlcharakterisierten Doppelverbindungen. Auch eine Reihe von Phenolen addiert sie in ähnlicher Weise. Man benutzt daher die Pikrinsäure häufig zur Fällung, Reinigung, Trennung, Charakterisierung oder auch quantitativen Bestimmung solcher Substanzen. Die Pikrinsäure wird in der Technik in sehr großem Maßstabe hergestellt. Man verwendet sie als Färbemittel, namentlich in Gemisch mit anderen Farbstoffen (die Färbungen sind jedoch nicht sehr echt), als schmerzlinderndes und antiseptisches Mittel bei der Behandlung von Brandwunden, und vor allem in der Sprengtechnik und Feuerwerkerei als Explosivstoff. Freie Pikrinsäure ist zwar gegen Stoß unempfindlich, doch explodieren alle ihre Salze durch Schlag oder Erhitzen sehr heftig. Die Explosion der Salze vermag auch durch sogenannte Initialzündung freie Pikrinsäure zur Explosion zu bringen, wodurch sich Explosionen von Pikrinsäure, die durch erdige oder metallische Bestandteile verunreinigt ist, erklären. Explodierendes Knallquecksilber, Nitrozellulose, Nitroglycerin vermögen ebenfalls eine Explosion der Pikrinsäure auszulösen. Pikrinsäure ist ein sehr brisanter Sprengstoff, ihre Explosionsprodukte stimmen nahezu mit denen von Nitrozellulose überein. Ihre chemische Stabilität und die große Sicherheit, welche sie gegen zufällige Explosionen bietet, haben dazu veranlaßt, Pikrinsäure (in geschmolzenem Zustande) als Granatfüllung zu verwenden. So ist der Hauptbestandteil des französischen Melinit, des englischen Lyddit, des japanischen Schimose Pikrinsäure. Diese Sprengstoffe leiden aber alle an dem Uebelstande, daß sie sich bei Gegenwart von etwas Feuchtigkeit leicht zersetzen können. Da die Pikrinsäure zu den stärksten Säuren gehört (s. S. 695), vermag sie aus den zur Zündung unentbehrlichen Stoffen, wie Nitroglycerin, Nitrozellulose, ja sogar aus Kalisalpeter die Salpetersäure in Freiheit zu setzen. Es kann zur Entwickelung von nitrosen Dämpfen kommen, und diese können wieder die Ursache einer gefährlichen Selbstentzündung sein.

2-Chlor-4-nitrophenol-1, $Cl.C_6H_3(NO_2)OH$, weiße Nadeln, Fp. 110°.

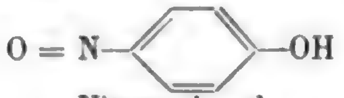
2,6-Dichlor-4-nitrophenol, $Cl_2.C_6H_2(NO_2)OH$, Fp. 125°.

1-Brom-4-nitrophenol, $Br.C_6H_3(NO_2)OH$, Fp 102°.

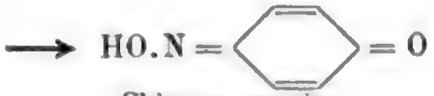
2,6-Dibrom-4-nitrophenol $Br_2.C_6H_2(NO_2)OH$, Fp. 142°, ist im Gegensatz zum p-Nitrophenol mit Wasserdämpfen flüchtig.

2,6-Dijod-4-nitrophenol, $J_2.C_6H_2(NO_2)OH$, Fp. 156,5°.

3. **Nitrosophenole.** Die Nitrosophenole entstehen durch Einwirkung salpetriger Säure auf Phenole, doch sind sie höchstwahrscheinlich in freier Form nicht existenzfähig, sondern lagern sich in die isomeren Chinonoxime um:



Nitrosophenol



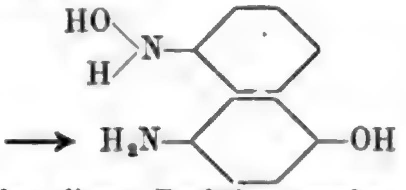
Chinonmonoxim.

denn sie sind identisch mit den Produkten, die aus Chinonen und salzsaurem Hydroxylamin entstehen. Vielleicht liegen Gleichgewichte zwischen der Nitroso-Form und der Oxim-Form vor analog wie bei einer Keto-Enol-Tautomerie (z. B. Acetessigester). Näheres über Nitrosophenole siehe im Artikel „Chinone".

4. **Amidophenole.** Die Amidophenole entstehen durch Reduktion der Nitro- resp. Nitrosophenole. Bei mehrfach nitrierten Phenolen kann man je nach dem angewandten Reduktionsmittel eine teilweise (z. B. durch Schwefelammonium) oder eine vollständige Reduktion der Nitrogruppen (z. B. durch Zinn und Salzsäure) erzielen. Sehr vorteilhaft kann man die Amidophenole ferner durch Reduktion von Oxyazoverbindungen gewinnen:

$$HO.C_6H_4.N{=}N.C_6H_4.SO_3H$$
$$\rightarrow OH.C_6H_4.NH_2 + NH_2.C_6H_4.SO_3H.$$

Manche Amidophenole bilden sich auch durch Umlagerung aus aromatischen Hydroxylaminderivaten.

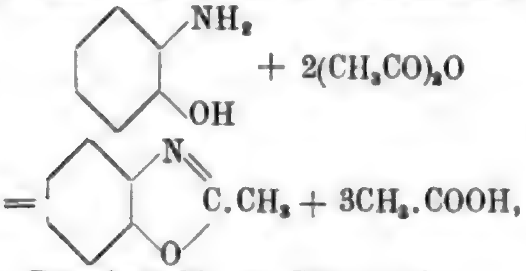


Infolge dieser Reaktion werden Amidophenole auch bei der elektrolytischen Reduktion von Nitrokörpern erhalten. Schließlich lassen sich Amidophenole auch durch Einwirkung von Ammoniak bei hoher Temperatur auf mehrwertige Phenole herstellen, indem eine Hydroxylgruppe durch eine Amidgruppe ersetzt wird:

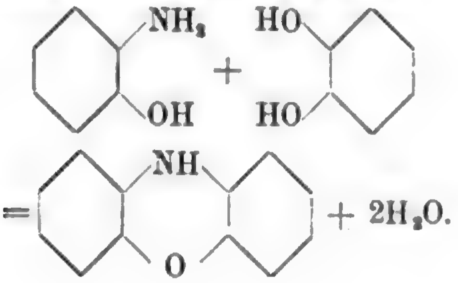
$HO.C_6H_4.OH + NH_3 = HO.C_6H_4.NH_2 + H_2O$
Resorcin m-Amidophenol.

Die Amidophenole sind feste kristallisierte, meist farblose Substanzen, welche in freiem Zustande, besonders bei Gegenwart von Feuchtigkeit und Licht, nicht lange haltbar sind, sondern sich unter Dunkelfärbung oxydieren. Sie sind amphotere Verbindungen, doch überwiegt der basische Charakter bedeutend. So bilden sie mit Säuren sehr beständige Salze vom Typus $OH.C_6H_4NH_2.HCl$, während ihre Alkalisalze (Phenolate) in freier Form nicht existenzfähig sind; doch muß man auf ihre Existenz in Lösungen schließen, da sich die Amidophenole leicht in Alkalilaugen auflösen. Die Amidophenole sind äußerst reaktionsfähige Substanzen. Wegen ihrer leichten Oxydierbarkeit wirken sie als kräftige Reduktionsmittel. Man verwendet sie daher vielfach als photographische Entwickler.

o-Amidophenol, $NH_2.C_6H_4.OH$, bildet rhombische Blättchen, Fp. 170°, in 59 Teilen Wasser bei 0° löslich, zeigt wie andere orthosubstituierte Amine große Neigung zu Ringkondensationen. So vereinigt es sich mit Säureanhydriden zu Benzoxazolen

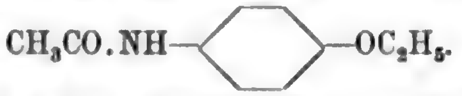


mit Brenzkatechin zu Phenoxazin.



m-Amidophenol wird gewöhnlich aus Metanilsäure (Metaamidobenzolsulfonsäure) durch Schmelzen mit Alkalien gewonnen, Fp. 121°, in heißem Wasser ziemlich leicht, in kaltem Wasser schwer löslich. Das m-Amidophenol und seine am Stickstoff alkylierten Derivate, wie Dimethylamidophenol $C_6H_4(OH).N(CH_3)_2$ und Diäthylamidophenol $C_6H_4(OH)N(C_2H_5)_2$, dienen als Ausgangsmaterial zur Herstellung der Rhodaminfarbstoffe (das sind Phtaleine aus Phtalsäureanhydrid und m-Amidophenolen) und des Nilblaus.

p-Amidophenol bildet weiße Blättchen, Fp. 184°, löslich in 90 Teilen Wasser von 0°. Durch Oxydation mit Chromsäure oder Bleisuperoxyd geht es in Chinon über, durch Chlorkalk in Chinonchlorimide. Mit Aldehyden und Ketonen verbindet sich das p-Amidophenol fast ebenso leicht wie Phenylhydrazin. Der Methyläther heißt p-Anisidin, der Aethyläther p-Phenetidin (vgl. den Artikel „Aether"). Aus dem p-Phenetidin erhält man durch Kochen mit Eisessig das bekannte Antipyreticum Phenacetin



Auch andere Derivate des p-Amidophenols werden als Fiebermittel gebraucht. Salze des p-Amidophenols werden als photographische Entwickler unter dem Namen „Rhodinal" verwendet. Auch als Haarfärbemittel (zum Färben von Pelzwerk) wird p-Amidophenol vielfach benutzt. Mit p-Amidophenollösung getränkte Haare färben sich bei der Oxydation mit Wasserstoffsuperoxyd braun bis rotbraun.

Phenyl-m-amidophenol, m-Oxydiphenylamin $C_6H_5.NH.C_6H_4OH$, bildet sich aus Resorcin und Anilin durch Erhitzen, Fp. 82°, Sdp. 340°.

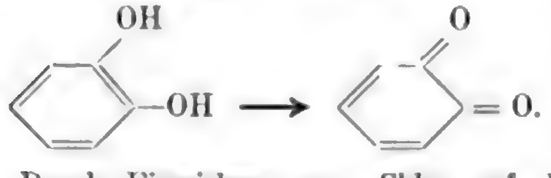
Phenyl-p-amidophenol, $C_6H_5.NH.C_6H_4OH$, aus Hydrochinon und Anilin. Fp. 70°, Sdp. 330°.

2,4-Diamidophenol-1, $(NH_2)_2C_6H_3.OH$. Die freie Base ist sehr zersetzlich und kaum bekannt. Die Salze kristallisieren gut, oxydieren sich aber in wässeriger Lösung sehr rasch. Sie dienen daher unter dem Namen „Amidol" als photographische Entwickler.

2,4,6-Triamidophenol-1, $(NH_2)_3C_6H_2.OH$ entsteht bei der Reduktion von Pikrinsäure mit Zinn und Salzsäure oder Jodphosphor und Wasser. Die freie Base ist sehr unbeständig und oxydiert sich fast momentan. Die wässerige Lösung des salzsauren Salzes wird durch Eisenchlorid tief blau gefärbt unter Bildung von Diamidochinonimid $NH.C_6H_2(NH_2)_2O$ bezw. Amidodiimidophenol$(NH)_2C_6H_2(NH_2)OH$. Triamidophenolsalze dienen als Entwickler unter dem Namen „Reducin".

Pikraminsäure, 2-Amido-4,6-dinitrophenol-1, $NH_2(NO_2)_2C_6H_2.OH$ entsteht durch gelinde Reduktion von Pikrinsäure (z. B. mit Schwefelammonium). Rote Nadeln, Fp. 165°.

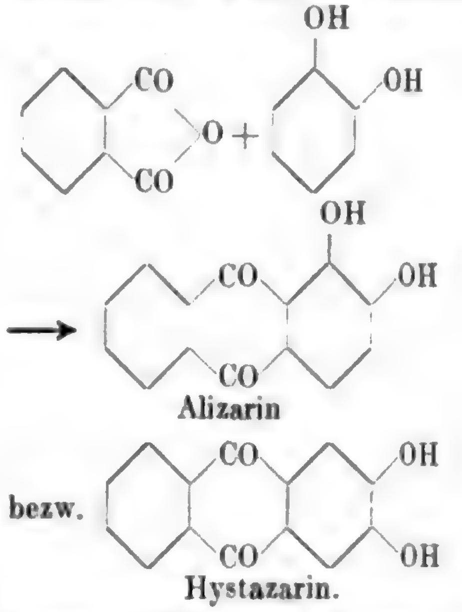
5c) **Zweiwertige Phenole. Brenzkatechin**, o-Dioxybenzol, $C_6H_4(OH)_2$, erhielt seinen Namen, weil es bei der trockenen Destillation von Katechin (dem Safte von Mimosa catechu) erhalten wurde (Reinsch, 1839). Es bildet sich aus manchen Harzen durch Schmelzen mit Alkali und findet sich ferner im Buchenholzteer, besonders in Form seines Mono-methyläthers, des Guajacols, $C_6H_4(OCH_3)OH$, aus dem es durch Erhitzen mit Jodwasserstoffsäure oder Aluminiumchlorid leicht erhalten werden kann. Als Schwefelsäureester kommt das Brenzkatechin im Pferde- und Menschenharn vor. Es läßt sich auch aus Phenol durch Oxydation mit Wasserstoffsuperoxyd gewinnen. — Das Brenzkatechin bildet farblose, glänzende Kristalle, Fp. 104°, Sdp. 240°, die in Wasser ziemlich leicht löslich sind. 100 Teile Wasser lösen bei 20° 31 Teile des Phenols. Fügt man zu einer wässerigen Lösung des Brenzkatechins Bleiacetat, so fällt das Bleisalz des Phenols als weißer Niederschlag aus, eine Reaktion, welche die beiden isomeren zweiwertigen Phenole, das Resorcin und das Hydrochinon, nicht geben. Eisenchlorid färbt die neutrale wässerige Lösung grün, eine Reaktion, die alle Ortho-dioxybenzole zeigen. Das Brenzkatechin oxydiert sich leicht unter Dunkelfärbung, besonders in alkalischer Lösung und ist deshalb ein kräftiges Reduktionsmittel. Silberlösung wird schon in der Kälte reduziert, Fehlingsche Lösung erst beim Erwärmen. Oxydiert man Brenzkatechin in absolut ätherischer Lösung mit Silberoxyd, so erhält man o-Benzochinon (und zwar in zwei isomeren Formen):



Durch Einwirkung von Chlor auf das o-Dioxybenzol entsteht Tetrachlorbrenzkatechin $C_6(OH)_2Cl_4$. Da das Brenzkatechin zwei Hydroxylgruppen in Ortho-Stellung besitzt, zeigt es große Neigung zu Ringkondensationen. So bildet es mit o-Phenylendiamin Phenazin

$$C_6H_4\left\langle\begin{matrix}OH\\OH\end{matrix}\right. + \left.\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix}\right\rangle C_6H_4 + O$$
$$= C_6H_4\left\langle\begin{matrix}N\\N\end{matrix}\right\rangle C_6H_4 + 3H_2O$$

mit o-Amidophenol Phenoxazin usw. Beim Erhitzen von Brenzkatechin mit Phtalsäureanhydrid und Schwefelsäure entsteht Alizarin neben dem isomeren Hystazarin:



Der Monomethyläther des Brenzkatechins heißt Guajacol, der Dimethyläther Veratrol (vgl. den Artikel „Aether").

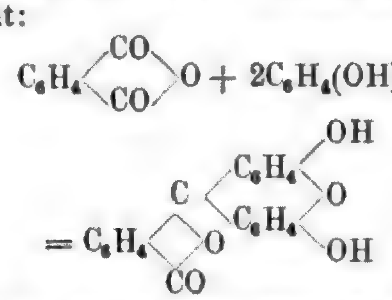
Isohomobrenzkatechin, 1-Methyl-2,3-dioxybenzol $CH_3.C_6H_3.(OH)_2$, Fp. 47°, Sdp. 238 bis 240°.

Homobrenzkatechin, 1-Methyl-3,4-dioxybenzol $CH_3.C_6H_3(OH)_2$ Fp. 51°, Sdp. 251 bis 252°, findet sich in Form seines 3-Methyläthers, des sogenannten Kreosols $CH_3.C_6H_3(OCH_3)OH$, im Buchenholz- und Eichenholzteer.

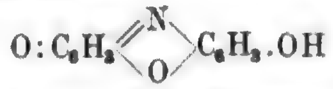
Resorcin, m-Dioxybenzol, $C_6H_4(OH)_2$, wurde zuerst aus einigen Harzen (Galbanumharz, Asa foetida) durch Schmelzen mit Alkalien gewonnen. Wegen seiner Aehnlichkeit mit dem schon früher bekannten Orcin (s. unten) und seiner Entstehung aus Harzen (Resina) erhielt es seinen Namen. Das Resorcin läßt sich nach den meisten allgemeinen Bildungsweisen der Phenole herstellen. Es ist das für die Technik wichtigste der drei Dioxybenzole und wird im Großen durch Alkalischmelze aus m-Benzoldisulfosäure gewonnen. — Resorcin bildet große farblose Nadeln Fp. 119°, Sdp. 276°, und ist in Wasser leicht löslich (100 Teile Wasser lösen bei 12,5° 147 Teile Resorcin). Die Löslichkeit in Chloroform und Schwefelkohlenstoff ist dagegen gering. Das Resorcin schmeckt süß und ist mit Wasserdämpfen etwas flüchtig. Die wässerige Lösung wird durch Eisenchlorid violett gefärbt und gibt mit Bromwasser einen Niederschlag von Tribromresorcin (quantitative Bestimmung). Bleiacetat erzeugt keine Fällung (Unterschied von Brenzkatechin). Das Resorcin ist gegen Oxydationsmittel beständiger, wie Brenzkatechin und Hydrochinon. Silberlösung und Fehlingsche Lösung werden erst bei höherer Temperatur reduziert. Beim Schmel-

Digitized by Google

zen mit Natron erhält man neben anderen Produkten Phloroglucin $C_6H_3(OH)_3$. Sehr zahlreich sind die Farbstoffe, die sich aus Resorcin herstellen lassen. Der wichtigste Farbstoff ist das Fluorescein, welches durch Erhitzen mit Phtalsäureanhydrid entsteht:



Diese Reaktion kann wegen der intensiven Fluorescenz des Fluoresceins in ammoniakalischer Lösung zum Nachweis kleiner Mengen dienen. Aehnliche fluoreszierende Farbstoffe liefern auch eine Reihe anderer aromatischer m-Dioxyverbindungen. Durch Oxydation mit salpetriger Säure entstehen aus Resorcin das Resorufin



und andere Farbstoffe der Phenoxazin-Reihe. Bei der Kombination von Diazoverbindungen mit Resorcin lassen sich Azofarbstoffe und Disazofarbstoffe gewinnen (z. B. Benzolazoresorcin, Sudan G $C_6H_5.N{=}N.C_6H_3(OH)_2$), die zum Teil noch technische Bedeutung haben. Pharmazeutische Verwendung findet das Resorcin als antiseptisches Mittel.

Styphninsäure, Oxypikrinsäure, 2,4,6-Trinitro-1,3-dioxybenzol$(NO_2)_3C_6H(OH)_2$, Fp. 175°, entsteht durch Nitrierung von Resorcin, zeigt viel Aehnlichkeit mit der Pikrinsäure und wird als Sprengstoff verwendet.

Orcin, 1-Methyl-3,5-dioxybenzol, $CH_3.C_6H_3(OH)_2$, findet sich in verschiedenen Flechtenarten (Rocella, Lecanora, Variolaria) teils frei, teils als Orcincarbonsäure (Orsellinsäure), teils als Erythritester der Orsellinsäure. Es entsteht durch Schmelzen von Aloeextrakt mit Kali, durch Erhitzen von Orsellinsäure $CH_3.C_6H_2(OH)_2COOH$, ferner aus manchen Toluolderivaten. Orcin kristallisiert mit $1H_2O$ in farblosen Prismen von süßem Geschmack; Fp. wasserhaltig 56°, Fp. wasserfrei 107°, Sdp. 290°, und ist in Wasser leicht löslich. Die wässerige Lösung wird durch Eisenchlorid blauviolett gefärbt. Die Fluorescein-Reaktion gibt das Orcin nicht. Durch Einwirkung von Ammoniak im Licht auf Orcin entsteht ein roter Farbstoff das Orcein. Dieses Orcein bildet den Hauptbestandteil des „Orseille-Farbstoffs" (französischer Purpur), der aus orcinhaltigen Flechtenarten durch Einwirkung von Ammoniak an der Luft sich bildet. Dieselben Flechtenarten liefern nach einem etwas veränderten Verfahren (Einwirkung von Pottasche und Ammoniak bei Luftzutritt) den bekannten Lackmusfarbstoff, der demnach zu den Orcinfarbstoffen zu zählen ist. Die konzentrierte blaue Lösung des Kaliumsalzes mit Gyps oder Kreide gemengt bildet den käuflichen Lackmus.

Kresorcin, Isorcin, γ-Orcin, 1-Methyl-2,4-dioxybenzol, $CH_3.C_6H_3(OH)_2$, Fp. 104°, Sdp. 269°.

1-Methyl-2,6-dioxybenzol, $CH_3.C_6H_3(OH)_2$, Fp. 64°.

p-Xylorcin, β-Orcin, 1,4-Dimethyl-3,5-dioxybenzol $(CH_3)_2C_6H_2(OH)_2$, Fp. 163°, Sdp. 279°.

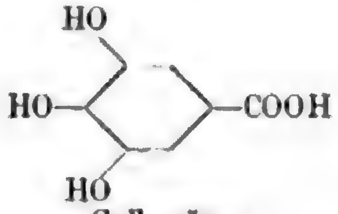
Hydrochinon, p-Dioxybenzol, $HO.C_6H_4.OH$ kommt im Zuckerbusch, Protea mellifera, und im Glucosid Arbutin natürlich vor. Es bildet sich außerordentlich leicht bei der Reduktion von Chinon mit allen möglichen Reduktionsmitteln und geht durch Oxydation ebenso leicht wieder in Chinon über. Daher der Name „Hydrochinon". Zur Darstellung des Hydrochinons geht man vom Anilin aus, das man zu Chinon oxydiert. Ohne dieses zu isolieren, reduziert man mit schwefliger Säure, schüttelt dann mit Aether aus und kristallisiert das gebildete Hydrochinon aus Wasser um. — Hydrochinon bildet farblose Prismen, Fp. 169°, siedet unzersetzt und schmeckt schwach süßlich. In Wasser ist es löslich (100 Teile Wasser lösen bei 15° zirka 6 Teile Hydrochinon). Durch Eisenchlorid und andere Oxydationsmittel wird es zu Chinon oxydiert, wobei sich als Zwischenprodukt Chinhydron, ein Additionsprodukt von zwei Mol. Hydrochinon und 1 Mol. Chinon, bildet. Silberlösung und Fehlingsche Lösung wird durch Hydrochinon leicht reduziert. Seines Reduktionsvermögens wegen wird Hydrochinon als photographischer Entwickler benutzt. Der „Hydrochinon-Entwickler" besteht gewöhnlich aus einer Lösung von Hydrochinon und der 4 bis 5fachen Menge Natriumsulfit in Wasser. Durch Erhitzen von Hydrochinon mit Phtalsäureanhydrid entsteht Chinizarin.

Toluhydrochinon, 1-Methyl-2,5-dioxybenzol, $CH_3.C_6H_3(OH)_2$, Fp. 124°.

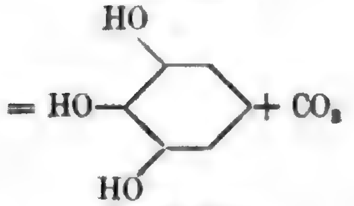
Xylohydrochinon, 1,4-dimethyl-2,5-dioxybenzol, $(CH_3)_2C_6H_2(OH)_2$, Fp. 212°.

5d) Drei- und mehrwertige Phenole. Pyrogallol, Pyrogallussäure, 1,2,3-Trioxybenzol, $C_6H_3(OH)_3$, wurde schon von Scheele (1786) durch Erhitzen von Gallussäure dargestellt, eine Reaktion, deren man sich heute noch zweckmäßig zur Gewinnung des Pyrogallols bedient und die in der Technik im großen ausgeführt wird.

Digitized by Google



Gallussäure



Pyrogallol.

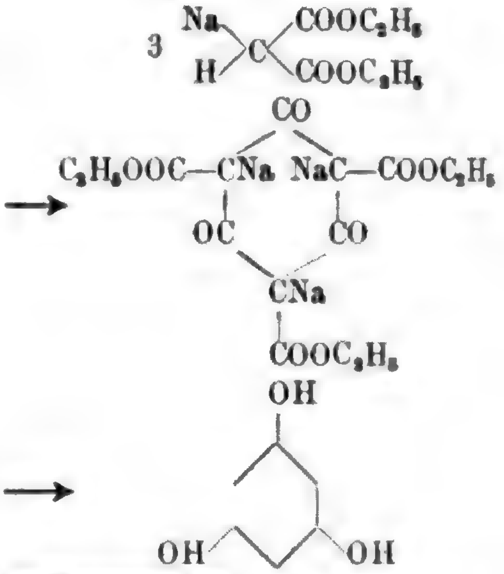
Das Pyrogallol bildet weiße glänzende Nadeln, Fp 132°, ist in Wasser gut löslich (2 : 100 bei 15°), schwerer löslich dagegen in Alkohol und Aether. Es ist außerordentlich oxydabel, besonders in alkalischer Lösung. In einer solchen Lösung absorbiert es ziemlich schnell freien Sauerstoff, weshalb es in der Gasanalyse mit Vorteil zur Sauerstoffbestimmung benutzt wird. Die Lösung färbt sich tiefbraun und das Pyrogallol zerfällt dabei in Kohlensäure und Essigsäure. Unter Umständen, besonders wenn die Pyrogallollösungen schon öfter gebraucht sind, entwickelt sich auch etwas Kohlenoxyd, worauf bei der Gasanalyse Rücksicht zu nehmen ist. Silber-, Gold- und Quecksilberlösungen, sowie Fehlingsche Lösung werden durch Pyrogallol rasch reduziert. Seiner reduzierenden Eigenschaften wegen findet das Pyrogallol auch Verwendung als photographischer Entwickler.

Oxyhydrochinon, 1,3,4-Trioxybenzol, Fp. 140,5° ist durch Alkalischmelze aus Hydrochinon erhalten worden und ist ebenfalls äußerst oxydabel.

Phloroglucin, 1,3,5-Trioxybenzol, $C_6H_3(OH)_3$ ist bei der Spaltung einiger Glucoside erhalten worden, zuerst aus dem Phloretin. Daher und wegen seines süßen Geschmacks der Name „Phloroglucin". Es bildet sich auch bei der Alkalischmelze einiger Harze (Katechin, Kino, Gummigut). Phloroglucin entsteht auch reichlich beim Verschmelzen von Resorcin mit Aetznatron, eine Reaktion, deren man sich bei der Darstellung im großen bedient. Phloroglucin ist synthetisch durch Kondensation des Natriummalonsäureesters erhalten worden:

(Siehe nächste Spalte oben.)

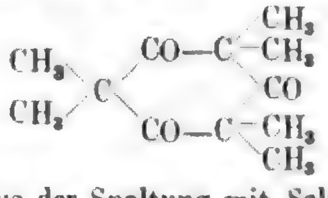
Das Phloroglucin kristallisiert in großen farblosen Tafeln mit 2 Mol. Kristallwasser, welches bei 100° abgegeben wird. Wasserfrei schmilzt es beim raschen Erhitzen bei 218°. Es ist in Wasser, Alkohol und Aether leicht löslich. Die wässerige Lösung wird durch Eisenchlorid blauviolett gefärbt und gibt mit Bleiacetat einen Niederschlag.



Wie Pyrogallol ist auch Phloroglucin ein leicht oxydabler Körper und seine alkalischen Lösungen absorbieren freien Sauerstoff. Verdünnte Phloroglucinlösungen färben einen mit Salzsäure befeuchteten Fichtenspahn rot, eine Reaktion, welcher man sich zum Nachweis von Holzsubstanz (z. B. in Papier) bedienen kann. Beim Einleiten von Chlor in die wässerige Lösung wird Phloroglucin in Dichloressigsäure $Cl_2HC.COOH$ und Tetrachloraceton $Cl_2HC.CO.CCl_2H$ gespalten. Das Phloroglucin reagiert in den meisten Fällen als Trioxybenzol. Es kann jedoch auch in einer tautomeren Form, als Triketohexamethylen

$$CH_2 \Big< {CO-CH_2 \atop CO-CH_2} \Big> CO$$

reagieren, ein Verhalten das übrigens auch, einige andere Phenole, doch in viel geringerem Maße, zeigen, z. B. Resorcin. Das Phloroglucin bildet mit Hydroxylamin ein Trioxim. Bei der Alkylierung mit Jodalkyl treten die Alkylgruppen nicht an den Sauerstoff, sondern an den Kohlenstoff. Das Hexamethylphloroglucin hat die Formel



wie sich aus der Spaltung mit Salzsäure bei 190° ergibt. Es entstehen nämlich dabei Kohlensäure, Diisopropylketon

$$ {CH_3 \atop CH_3} \Big> C-CO-C \Big< {CH_3 \atop CH_3} $$

und Isobuttersäure

$$ {CH_3 \atop CH_3} \Big> CH.COOH. $$

Vier- und mehrwertige Phenole. 1,2,3,4-Tetraoxybenzol, Apionol

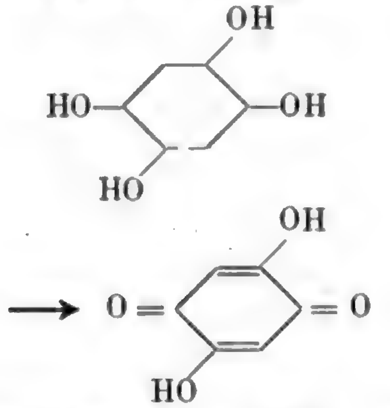
$C_6H_2(OH)_4$ ist nur in Form einiger Aether (der Apiole) bekannt, unter denen der Dimethyl-methylenäther

$$(CH_3.O)_2C_6H_2\langle{}^{O}_{O}\rangle CH_2,$$

das Apion durch sein Vorkommen in der Petersilie bemerkenswert ist.

1,2,3,5-Tetraoxybenzol, $C_6H_2(OH)_4$, feine Nadeln, Fp. 165°. Ein Monomethyläther dieses Phenols, das Isetol, $C_6H_2(OH)_3OCH_3$, ist durch Spaltung des in der Veilchenwurzel enthaltenen Glucosids Isidin erhalten worden.

1,2,4,5-Tetraoxybenzol, $C_6H_2(OH)_4$ glänzende Blättchen, Fp. 215 bis 220°, entsteht durch Reduktion von Dioxychinon, ist ein sehr oxydabler Stoff und wird durch Eisenchlorid sofort zu Dioxychinon oxydiert:



Hexaoxybenzol, $C_6(OH)_6$ entsteht durch Reduktion von Trichinoyl

$$CO\langle{}^{CO-CO}_{CO-CO}\rangle CO.$$

Es bildet grauweiße Nadeln, die sich gegen 200° zersetzen.

In den meisten Lösungsmitteln ist das Hexaoxybenzol schwer löslich. Es ist äußerst oxydabel und reduziert Silberlösung sofort. Von konzentrierter Salpetersäure wird es in Trichinoyl, durch Luftsauerstoff bei Gegenwart von Alkali in Tetraoxychinon und in Krokonsäure übergeführt. Durch die Untersuchungen von Nietzki und Benkiser (1885) ist festgestellt, daß das Kaliumsalz des Hexaoxybenzols identisch ist mit einer grauen kristallinischen Substanz, die sich bei der Einwirkung von trockenem Kohlenoxydgas auf geschmolzenes Kalium bildet und Kohlenoxyd-Kalium genannt wird. Es liegt also eine interessante Synthese des Benzolkerns aus sechs vorher isolierten Kohlenstoffatomen vor. Das Kohlenoxydkalium ist frisch bereitet eine ungefährliche Substanz, erlangt aber durch längeres Liegen an der Luft höchst explosive Eigenschaften, ein Umstand, der bei der Darstellung des metallischen Kaliums mitunter zu heftigen Explosionen Anlaß gegeben hat, da sich hierbei unter Umständen das Kohlenoxydkalium als Nebenprodukt, als sogenannte „schwarze Masse", bildet.

5e) Ueber die Phenole der Polyphenylverbindungen, der kondensierten Ringsysteme, der heterocyklischen Verbindungen usw. siehe die Artikel „Polyphenylverbindungen", „Naphtalingruppe", „Heterocyklische Systeme" und andere.

Literatur. *F. Beilstein, Handbuch der organischen Chemie. Hamburg und Leipzig 1904.*

G. Reddelien.

Phoronis.

1. Morphologie: a) Aeußere Erscheinung. b) Innerer Bau. 2. Entwickelung. 3. Verwandtschaft. 4. Systematik. 5. Biologie. 6. Geographische Verbreitung.

1. **Morphologie.** 1a) Aeußere Erscheinung. Phoronis Wright (1856) bezeichnet als Gattungsname in Kolonien lebende, röhrenbewohnende, marine, wurmartige Tiere von eigenartigem Bau. Meist handelt es sich um kleine Formen. Die größten bekannten Arten erreichen eine Länge von über 13 cm.

Der Körper ist schlank wurmförmig, am unteren Ende mehr oder weniger ampullenartig angeschwollen. Das obere Ende, das aus der Wohnröhre herausgestreckt wird, trägt einen in Gestalt eines

Fig. 1. Teil einer Kolonie. Nach Ph. Kowalewskii. Etwas vergrößert. Aus Shipley 1901.

Hufeisens erscheinenden oder auch etwas komplizierter gebauten Tentakelapparat, das Lophophor. Hier liegt der Mund, der After und die Oeffnungen der Nephridien. Der zwischen Ampulle und Lophophor liegende Teil des Körpers ist geringelt (keine Segmentierung).

Die Tentakelkrone wird gebildet durch eine große Zahl von feinfädigen Tentakeln, die am Rande eines Hufeisens mit kurzen Armen stehen. In der Konkavität des Hufeisens ist die Tentakelreihe unterbrochen. Hier findet die Neubildung von Tentakeln statt. Zwischen Konvexität und Konkavität liegt die Mundöffnung in einer auf

Digitized by Google

die Arme des Hufeisens sich fortsetzenden Rinne. Der Mund wird überdeckt durch eine zwischen ihm und der Konkavität des Hufeisens liegende Hautfalte (Epistom), die, an Höhe abnehmend, zwischen der Doppelreihe der Tentakeln nach den Enden der Hufeisenschenkel verläuft. In manchen

Fig. 2. Ph. psammophila Cori. Nach Cori 1890. Natürliche Größe.

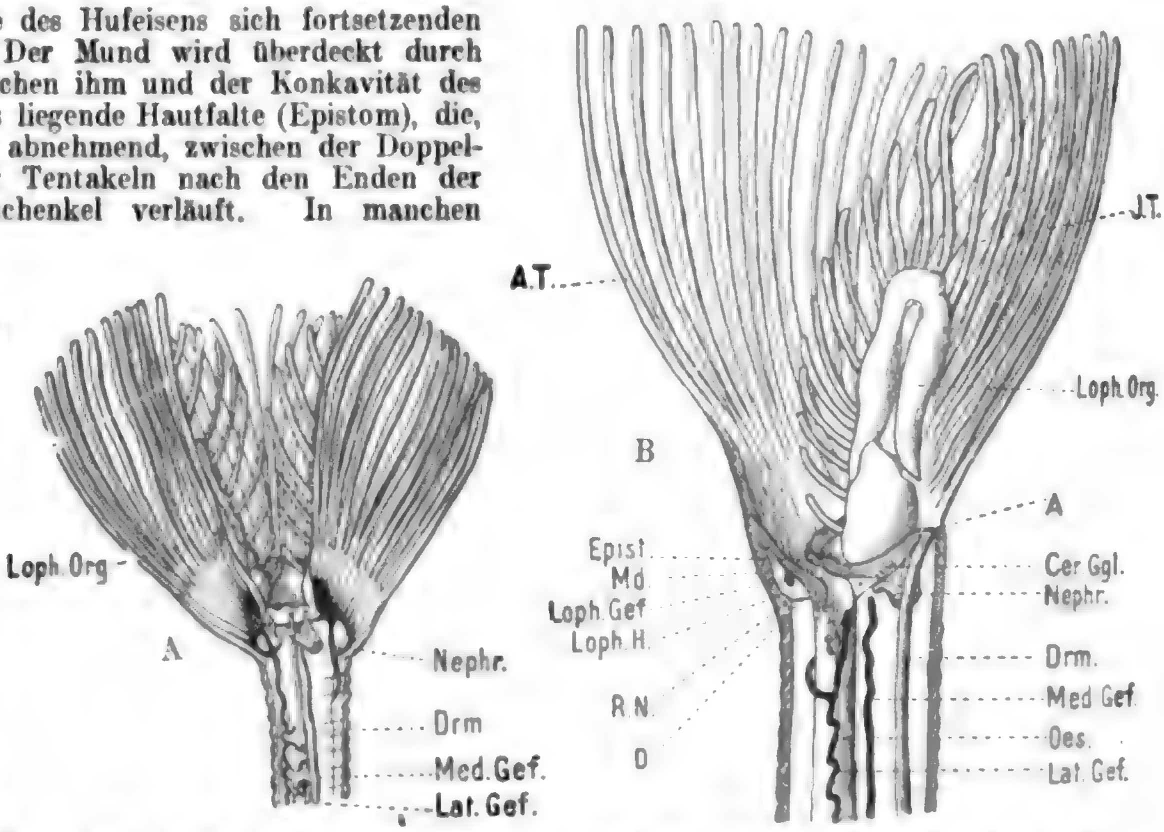


Fig. 3. Ph. psammophila Cori. Nach Cori 1890. A Lophophor von hinten, B Rechte Hälfte eines der Länge nach (sagittal) durchschnittenen Vorderendes von der Schnittfläche gesehen. A After, AT Aeußere Tentakel, Cer.Ggl. Cerebralganglion, D Diaphragma, Drm Darm, Epist. Epistom, Lat.Gef. Lateralgefäß (abführend), IT Innere Tentakel, Loph.Gef. Lophophorgefäß, Loph.H. Lophophorhöhle, Loph.Org. Lophophororgan. Md Mund, Med.Gef. Mediangefäß (zuführend), Nephr. Nephridium, Oes. Oesophagus, RN Ringnerv.

Fällen ist das Lophophor komplizierter dadurch, daß die Schenkel des Hufeisens sich spiralig in mehreren Umgängen nach innen aufrollen, womit eine bedeutende Vermehrung der Tentakel Hand in Hand

Fig. 4. Ph. psammophila Cori. Nach Cori 1890. Schematischer Grundriß des Lophophors. A After, Cer.Ggl. Cerebralganglion, Epist. Epistom, Nephr. Nephridium.

geht (z. B bei Ph. australis bis mehr als 1000). Dem Munde gegenüber, zwischen den Schenkeln des Lophophors, außerhalb der Doppelreihe der Tentakel liegt die Afteröffnung, rechts und links von ihr finden sich die Oeffnungen der beiden Nephridien.

Die Tentakel sind durch einen Fortsatz der Leibeshöhle hohl und enthalten ein Blutgefäß. Ihre Außenfläche ist bewimpert. Zwischen den Schenkeln des Lophophors liegt ein Paar etwa ohr- oder löffelförmigen Erhebungen, die sogenannten Lophophororgane, die in ihrer Bedeutung noch etwas unsicher sind. Die Tiere bewohnen eine von ihnen abgeschiedene Röhre. Diese besteht aus einem festen, durchscheinenden, an Pergament erinnernden Sekret, ist meist dick mit Fremdkörpern besetzt und ist gerade bis unregelmäßig gekrümmt. Auch die in festem Substrat bohrenden Arten bilden eine solche Röhre.

1b) Innerer Bau. Die Körperwand zeigt folgende Schichten: Cuticula, Epithel, mit reichlichen einzelligen Drüsen, Stützsubstanz (zellenfrei), Ring- und Längsmuskeln (die letzteren zu Bündeln gruppiert), Peritoneal-(Cölom-)epithel. Die Muskelelemente sind glatt. In den Tentakeln gibt es äußere und innere Längsmuskeln. Auch zeigt hier die Stützsubstanz besondere Differenzierungen.

Die Tiere sind, nach den Arten etwas wechselnd, in gelblichen, rötlichen, roten

bis braunen Tönen gefärbt, wobei auch die durchscheinende rote Farbe des Blutes in Betracht kommt.

Das Nervensystem ist vollständig epithelial. Zwischen Mund und After liegt ein Cerebralganglion. Von diesem entspringt nach rechts und links je ein Nervenstrang. Diese Stränge umziehen die Basis des Lophophors und fließen vor dem Munde zusammen, so einen Nervenring bildend, der da verläuft, wo das Diaphragma, eine die Leibeshöhle quer durchziehende Scheidewand, an die Körperwand sich ansetzt. Von der linken Hälfte des Nervenringes entspringt ein Längsnerv (wahrscheinlich ein einziger großer Achsenzylinder), der an der Ansatzstelle des linken Seitenmesenteriums nach dem Unterende des Körpers zu zieht.

Bei manchen Arten kommt ein entsprechender, jedoch rudimentärer Nerv auch auf der rechten Seite vor.

Am Epistom, den Tentakeln usw. finden sich in der Tiefe des Epithels Nervenausbreitungen.

Ob die oben erwähnten Lophophororgane Sinnesorgane sind, ist noch fraglich.

Der Darmkanal bildet ein sehr langgestrecktes Hufeisen, von welchem der eine Schenkel am Munde, der andere am After endet. Die Umbiegungsstelle liegt tief unten im Körper, in der sogenannten Ampulle. Man unterscheidet am Darmrohr folgende, nicht scharf abgegrenzte Abteilungen: Oesophagus, Vormagen, Magen (in der Ampulle), Darm, Rektum.

Der Darm wird in der Leibeshöhle, die von einer wenige Zellen enthaltenden Flüssigkeit erfüllt wird, durch ein Diaphragma und mehrere Mesenterien in seiner Lage erhalten.

Das Diaphragma verläuft an der Basis des Lophophors etwas schief zur Längsachse des Körpers durch die Leibeshöhle. Es wird von dem Oesophagus und den großen Blutgefäßen, nicht dagegen von dem Enddarm und den Nephridien durchsetzt. Oberhalb des Diaphragmas liegt die Lophophorhöhle, unterhalb die eigentliche Leibeshöhle.

Ein sagittales Hauptmesenterium spannt sich zwischen der konvexen Seite des Darmes und der Körperwand aus. Dazu kommen zwei Lateralmesenterien, die vom Vorderdarm entspringend, ebenfalls an der Körperwand sich festhaften. Dem linken Lateralmesenterium legt sich der Enddarm an und verklebt mit ihm.

So wird ein zwischen den beiden Schenkeln des Darmes verlaufendes medianes Mesenterium vorgetäuscht. Manche Autoren sind jedoch der Ansicht, daß tatsächlich ein medianes, beide Darmschenkel einschließendes Mesenterium bestehe und daß dementsprechend das rechte Lateralmesenterium vom absteigenden, das linke dagegen vom aufsteigenden Schenkel des Darmes entspringe.

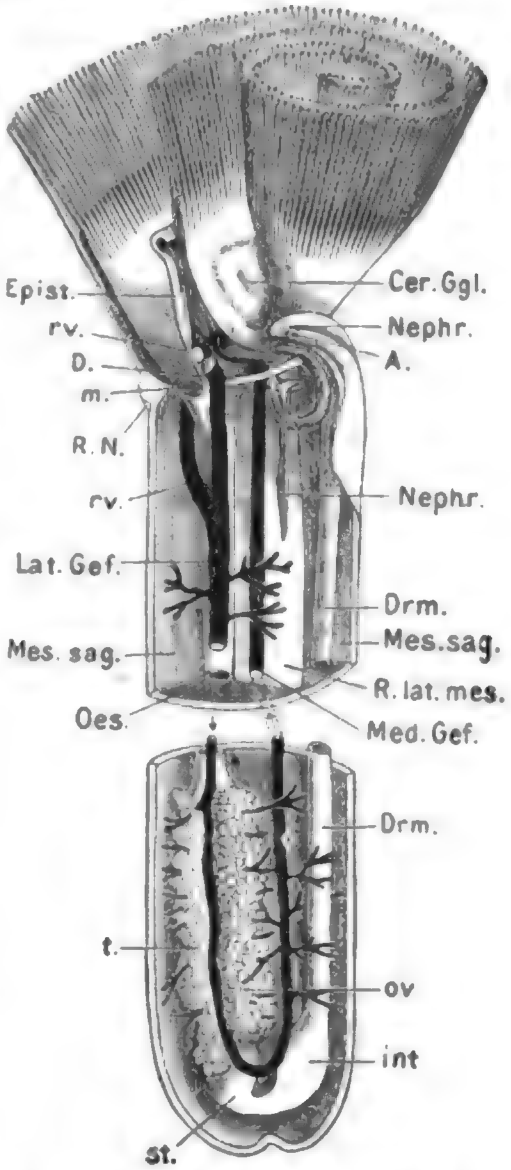


Fig. 5. Schematische Uebersicht über die Organisation von Phoronis (unter Zugrundelegung von Ph. australis). Die linke Hälfte des Lophophors ist weggenommen gedacht; ebenso die linke Körperwand und das linke Lateralmesenterium. Dargestellt ist nur das obere und untere Ende. Dazwischen fehlen $^7/_8$ der Gesamtlänge. Nach Benham 1890. Aus Shipley 1901. A After, Cer. Ggl. Cerebralganglion, D Diaphragma, Drm Darm, Epist. Epistom, int. Magen, Lat. Gef. Lateralgefäß (abführend), m Mund, Med. Gef. Mediangefäß (zuführend), Mes. sag. Sagittales Mesenterium, Nephr. Nephridium, Oes. Oesophagus, ov. Ovarium, R. Lat. Mes. Rechtes Lateralmesenterium, RN Ringnerv, rv Rechtes Lophophorgefäß und rechter Ast des (abführenden) Lateralgefäßes. st Vormagen, t Hoden.

Die Mesenterien scheiden die Leibeshöhle, wie das der Querschnitt (Fig. 6) klar zeigt, in 4 Kammern, zwei dem absteigenden Darmschenkel anliegende Oralkammern und zwei

Digitized by Google

Analkammern, rechts und links vom aufsteigenden Darmschenkel.

Die Mesenterien sind stellenweise durchbrochen und damit wird die Scheidung der Kammern unvollständig.

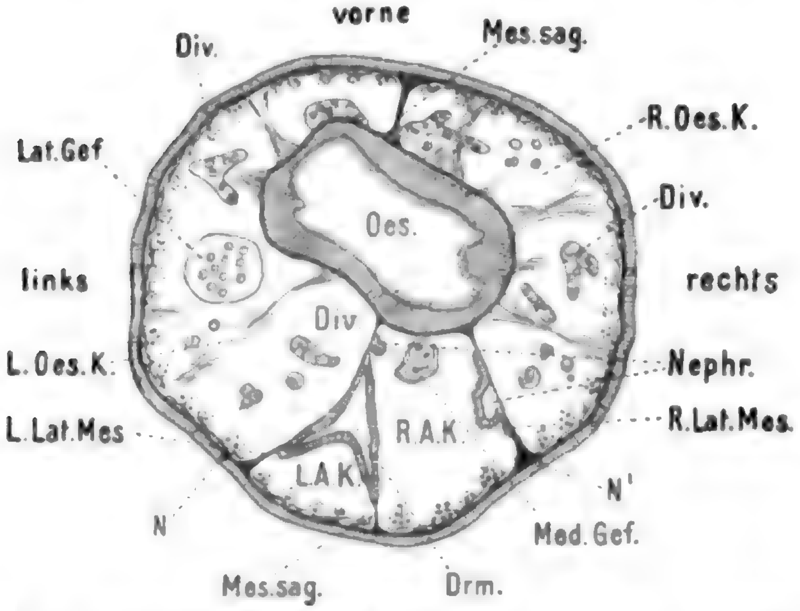


Fig. 6. Querschnitt durch Ph. australis nicht weit unterhalb des Diaphragmas. Nach Benham 1890. D Divertikel des abführenden Lateralgefäßes, Drm Darm, L.A.K Linke Analkammer, Lat.Gef. Lateralgefäß (abführend), L.Lat.Mes. Linkes laterales Mesenterium, L.Oes.K. Linke Oesophagealkammer, Med.Gef. Mediangefäß, Mes. sag. Sagittales Mesenterium, N Linker Längsnerv, N' Rechter Längsnerv, Nephr. Nephridium, R.A.K. Rechte Analkammer, R.Lat.Mes. Rechtes laterales Mesenterium, R.Oes.K. Rechte Oesophagealkammer.

Es findet sich ein Paar retroperitonealer Nephridien, die im einfachsten Fall mit einem Wimpertrichter im Cölom beginnen. Bei manchen Arten (z. B. Ph. hippocrepia, australis) hat jedes Nephridium zwei Trichter, von denen der kleinere in der Oralkammer, der größere in der Analkammer, liegt. Die äußeren Oeffnungen der Nephridien finden sich rechts und links vom After (siehe oben). Die Nephridien dienen auch als Geschlechtswege.

Phoronis besitzt ein wohlentwickeltes, geschlossenes Blutgefäßsystem in folgender Anordnung:

An der Hinterseite des absteigenden Darmschenkels sind durch kurze Mesenterien zwei Gefäße befestigt, von welchen das eine, etwas engere, sogenannte Mediangefäß in der rechten Analkammer liegt. Es führt venöses Blut nach dem Lophophor. Das andere, weitere, sogenannte Lateralgefäß liegt in der linken Oralkammer und führt arterielles Blut aus dem Lophophor abwärts. Es trägt eine große Zahl von blindgeschlossenen in der Leibeshöhle flottierenden Divertikeln. Beide Gefäße kommunizieren miteinander durch einen in der Wand der Umbiegungsstelle des Darmkanals gelegenen Sinus.

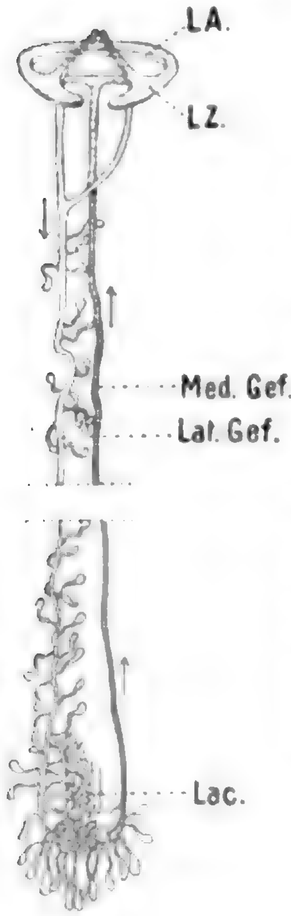


Fig. 7. Schematische Uebersicht über das Blutgefäßsystem von Phoronis unter Zugrundelegung einer Abbildung von Cori, ergänzt nach de Selys-Longchamps. Die Pfeile geben die Richtung des Blutstromes an. L.A. Ausführendes Lophophorgefäß, Lac. Gefäßlacunen in der Magenwand, Lat.Gef. Abführendes (arterielles) Lateralgefäß, Med.-Gef. Zuführendes (venöses) Mediangefäß.

Das Lateralgefäß teilt sich unterhalb des Diaphragmas in zwei Aeste, von denen der linke gerade nach oben zieht, der rechte vor dem Oesophagus nach rechts läuft und dann parallel dem linken Aste aufsteigt. Beide Aeste durchsetzen das Diaphragma und treten mit dem ausführenden Lophophorgefäß in Verbindung. Ebenso durchsetzt das Mediangefäß das Diaphragma, um oberhalb desselben T-förmig sich gabelnd in das zuführende Lophophorgefäß einzumünden. Die beiden Lophophorgefäße sind dicht aneinander gelagert und folgen dem Verlauf der Tentakelreihe (siehe Fig. 7). Die Tentakelgefäße sind an ihrem unteren Ende durch ein Septum ein Stück weit in zwei Kanäle geteilt, von denen der eine mit dem zuführenden, der andere mit dem abführenden Gefäß in Verbindung steht. Die Gefäße sind durch eigene Muskeln kontraktil. Besonders ener-

Digitized by Google

gisch pulsiert das zuführende Mediangefäß. Das **Blut** besteht aus einem farblosen Plasma und durch Hämoglobin rot gefärbten kernhaltigen Blutkörperchen in Gestalt von kreisrunden konkav-konvexen Scheiben.

Ihr Durchmesser schwankt bei verschiedenen Arten von etwa 5 bis 15 μ, geht also bis etwa zur doppelten Größe der Blutkörperchen des Menschen.

Aus dem Peritonealüberzug der unteren zwei Drittel des Lateralgefäßes und seiner Divertikel (also in der linken Oralkammer) entwickelt sich eine ansehnliche Gewebsmasse, der sogenannte Fettkörper.

Die Zellen enthalten als Einschlüsse degenerierende Blutkörperchen, Dottertröpfchen, Pigment und die sogenannten Spindelkörper. Dies sind spindelförmige, kernlose, fein längsgestreifte Elemente, wie sie auch bei Lingula, aber auch bei Polychäten vorkommen.

Auch in der rechten Oralkammer soll ein reduzierter Fettkörper sich finden.

Im Fettkörper der linken Oralkammer entwickeln sich die Geschlechtsprodukte. Die Tiere sind Hermaphroditen, wobei entweder Eier und Samenfäden gleichzeitig reifen, oder auch Proterandrie vorkommt.

Die Lage des Hodens zum Ovar ist nach den Arten etwas verschieden. Die in die Leibeshöhle fallenden Geschlechtsprodukte gelangen durch die Nephridien nach außen.

2. Entwickelung. Die Eier werden in der Regel im Wasser befruchtet und machen ihre Entwickelung zwischen den Tentakeln durch. Die Furchung ist total und etwas inäqual und führt zur Bildung einer Invaginationsgastrula. Der Blastoporus schließt sich von hinten nach vorne. Der vordere Teil bleibt offen und wird durch das sich einsenkende ektodermale Stomodäum in die Tiefe verlagert. Der After ist eine Neubildung. Die Bildung des Mesoderms ist noch kontrovers (vgl. de Selys-Longchamps, 1907).

Ueber die Anlage der Körperhöhlen bestehen verschiedene Ansichten, die sich in Kürze nicht diskutieren lassen.

Vor dem Munde bildet sich ein ansehnlicher präoraler Lappen, in dem eine Ektodermverdickung, die Scheitelplatte — die Anlage des Cerebralganglions, auftritt. Die Ektodermzellen entwickeln Wimpern und in diesem Zustande schlüpft die Larve aus. Hinter dem Munde entsteht nun ein halbkreisförmiger Wulst, ein postoraler Wimperkranz, aus dem sich die für die Larve, die Actinotrocha, charakteristischen Tentakel entwickeln.

Die Nephridien der Larven gehen aus einer Ektodermeinstülpung hervor. Sie sind mit Solenocyten versehen.

In der Umgebung des Afters entsteht ein Wimperkranz. Der ganze postorale Abschnitt des Larvenkörpers vergrößert sich.

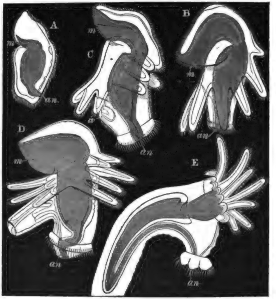


Fig. 8. Ausbildung der Phoronislarve (Actinotrocha) und ihre Umwandlung in das erwachsene Tier. Nach Metschnikoff. Aus Balfours Handbuch der vergleichenden Embryologie. A Junge Larve, B Larve nach der Ausbildung des Tentakelkranzes, C Larve mit Anlage des Metasoma (iv), D Larve mit teilweiser Ausstülpung des Metasoma, E mit vollständiger Ausstülpung des Metasoma, an After, iv Anlage des Metasoma, m Mund.

Digitized by Google

Auf der Bauchseite bildet sich eine einwärts gerichtete, nach und nach zu einem langen Schlauche auswachsende Einstülpung (iv in den Figuren), welche den Hauptabschnitt des künftigen Wurmkörpers (Metasoma) vorstellt. Sie füllt schließlich in zahlreichen Windungen die Leibeshöhle aus, den Darm nach rechts verdrängend.

Die Actinotrochalarve lebt pelagisch und geht, zu Boden sinkend, durch eine eigentümliche Metamorphose in den erwachsenen Zustand über.

Die Anlage des Metasomas stülpt sich aus, wie ein Schneckenfühler und zwingt dabei den an ihr festgehefteten Darmkanal zu folgen, wobei dieser sich in die geschilderte hufeisenförmige Schlinge legt.

Hinter den Larvententakeln hatten sich schon während des Larvenlebens die definitiven Tentakeln angelegt. Was vom Larvenkörper vor diesen liegt, der präorale Lappen mit Ganglion und die Larvententakel, wird abgestoßen und verschluckt. Epistom und Ganglion des erwachsenen Tieres sind Neubildungen. Der eigentliche Larvenkörper wird stark reduziert, so daß der After dicht an den Mund zu liegen kommt.

Diese sehr eigentümliche Metamorphose ist der Grund für eine etwas verschiedene Beurteilung der Körperregionen des erwachsenen Wurmes. Wenn man annimmt, daß bei der Larve der After das Hinterende bezeichnet, so gehört das sich umstülpende Metasoma der Ventralseite an und die ganze Rückenseite des Tieres nach der Metamorphose wird durch die kurze Strecke vom Mund zum After vorgestellt.

Nach einer anderen Auffassung würde der Larvenafter nicht genau terminal, sondern etwas nach der Dorsalseite verschoben liegen. Dann soll die Ampulle das Hinterende des Wurmkörpers vorstellen. Der After ist auf der Dorsalseite nach vorn verlagert wie bei Sipunculus, jedoch in noch höherem Grade.

Zur Annahme einer Segmentierung liegen keine zwingenden Gründe vor.

3. Verwandtschaft. Ueber die verwandtschaftlichen Beziehungen der Gattung Phoronis bestehen noch Meinungsverschiedenheiten.

Man hat die Phoroniden mit den Sipunculiden, den Bryozoen, Brachiopoden und anderen in die Gruppe der Prosopygier zusammengefaßt. Es dürfte bis jetzt aber noch immer nicht ganz zweifellos sein, ob die Besonderheiten in der Organisation der Phoroniden, die als Hinweis auf engere Beziehungen mit der einen oder anderen der genannten Gruppen betrachtet werden, tatsächlich auch der Ausdruck wirklicher Verwandtschaft sind. Die zahlreichen Ansichten, die im einzelnen geäußert wurden, können hier nicht eingehender erörtert werden. Vgl. dazu de Selys-Longchamps (1907).

4. Systematik. Die Gattung Phoronis wurde von Wright 1856 für das erwachsene Tier geschaffen. Die charakteristische Larve war schon 1846 von Joh. Müller unter dem Namen Actinotrocha beschrieben worden.

Bis heute sind 12 Arten von Phoronis festgestellt worden. Daß mehr vorhanden sind, geht daraus hervor, daß nach der Uebersicht von de Selys-Longchamps (1907) 28 Actinotrochen beschrieben wurden. Gilchrist (1910) stellte eine neue Gattung Phoronopsis mit der Art Ph. albomaculata auf.

5. Biologie. Die Phoronisarten sind alle marin. Sie leben in Gesellschaften, teils in der Strandregion, teils in etwas tieferem Wasser bis etwa 50 m. Vorwiegend finden sie sich auf schlammigem aber auch gröber sandigem Grund, wobei ihre in den Grund eindringenden Röhren von Schlamm oder Sandteilchen inkrustiert sind. Manche Arten (z. B. Ph. hippocrepia) bohren sich in Kalkstein oder Kalkschalen von Mollusken und Brachiopoden ein, wobei dann die in dem Substrat gebohrten Hohlräume von der Röhre austapeziert werden. Ph. australis lebt in den Röhren eines Cerianthus eingesenkt.

Die Tiere sind Detritusfresser. Ihre Hauptnahrung sind Diatomaceen.

Sie besitzen eine große Regenerationsfähigkeit. Das leicht verloren gehende Vorderende mit der ganzen Tentakelkrone wird rasch und vollkommen ersetzt.

6. Geographische Verbreitung. Phoronisarten kommen in allen Meeren vor.

Literatur. *Eine vollständige Zusammenstellung der Literatur findet sich in* ***M. de Selys-Longschamps,*** *Phoronis. Fauna und Flora des Golfes von Neapel. 30. Monographie. Berlin 1907.*

A. Blochmann.

Phosphoreszenz.

1. Begriff. 2. Geschichtliches. 3. Beobachtung. 4. Vorkommen. 5. Beziehung zur Fluoreszenz. 6. Verschiedene Arten der Phosphoreszenz. 7. Allgemeines über physikalische und chemische Zusammensetzung der Leuchtstoffe. 8. Kathodoluminophore. 9. Erdalkaliphosphore und Zinksulfid: a) Chemische Zusammensetzung. b) Herstellungsbedingungen. c) Druckwirkung 10. Phosphoreszenzlicht: a) Beziehung zur erregenden Strahlung. b) Zur chemischen Zusammensetzung. c) Analytische Bedeutung. d) Einfluß der Temperatur. 11. Theoretisches.

Das Wort „Phosphoreszenz" hat zu verschiedenen Zeiten verschiedene Bedeutung

Digitized by Google

gehabt, und auch heute ist sie noch nicht völlig feststehend. Insbesondere ist der Begriff „Phosphoreszenz" in fremdsprachlichen Abhandlungen häufig nach Inhalt und Umfang verschieden von demjenigen, welcher jetzt bei deutschen Chemikern und Physikern gebräuchlich ist.

Gemäß der letzteren Auffassung sollen im folgenden nur solche Vorgänge als Phosphoreszenz bezeichnet werden, bei denen ein stoffliches Substrat Lichtstrahlen auszusenden fähig wird, ohne die für eine sichtbare Temperaturausstrahlung erforderliche Temperatur zu besitzen. Damit ist die Phosphoreszenz als ein sogenannter Lumineszenzvorgang charakterisiert (vgl. den Artikel „Lumineszenz"). Jedoch ist der Begriff noch in dreifacher Hinsicht einzuschränken: erstens hinsichtlich der Erregungsursache der Lumineszenz: Im Gegensatz zu den verwandten Erscheinungen der Tribo-, Chemi-, Lyo- und Thermolumineszenz, Vorgängen, bei denen die Leuchterscheinung mit Reibungsvorgängen, chemischen Reaktionen, Lösungsvorgängen und Wärmewirkungen in Zusammenhang zu bringen ist, ist die Phosphoreszenz veranlaßt durch die Einwirkung strahlender Energie, und man unterscheidet je nach Art der einwirkenden Strahlungsart Phosphoreszenz, verursacht durch Licht (Photolumineszenz), durch Kathodenstrahlen (Kathodolumineszenz), durch Kanalstrahlen, durch Röntgenstrahlen und durch Strahlung radioaktiver Körper. Die zweite Einschränkung bezieht sich auf die Natur der erregten Strahlung. Wir bezeichnen zum Unterschied von den Vorgängen der Fluoreszenz nur solche Vorgänge als Phosphoreszenz, bei denen erregende und erregte Strahlung zeitlich insofern nicht völlig zusammenfallen, als der erregte Körper noch nach Aufhebung der erregenden Strahlung mehr oder weniger lang nachleuchtet. Endlich ist die Anwendung des Wortes Phosphoreszenz nur für solche Vorgänge geboten, bei denen die erregten Strahlen Lichtstrahlen sind. Damit würden z. B. Vorgänge, wie die Erzeugung der Röntgenstrahlen durch das Kathodenlicht, die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch Bestrahlung von Metallen mit ultraviolettem Licht, nicht unter unseren Begriff fallen. Wir werden also nur dann sagen können, daß ein Körper phosphoresziert, wenn er nach vorhergegangener Bestrahlung durch eine der genannten Strahlungsarten in merklicher Weise Lichtstrahlen aussendet.

2. Geschichtliches. Die Fähigkeit gewisser Körper, besonders organischer Natur, Licht ohne merkliche Erwärmung auszusenden, war schon im Altertum bekannt. Doch wurde sie z. B. bei Mineralien häufig verwechselt mit dem ein Eigenleuchten vortäuschenden Funkeln stark lichtbrechender Körper. Näher beschrieben und erforscht wurde die Photolumineszenz erst seit der Auffindung einiger stark und lange nachleuchtender anorganischer Verbindungen: des sogenannten Bologneser Leuchtsteins im Anfang des 17. Jahrhunderts durch Vincentius Casciarolus 1602 (hauptsächlich Baryumsulfid) und des Cantonschen Phosphors (hauptsächlich aus Austernschalen bereitetes Calciumsulfid 1768), endlich seit der Beobachtung des starken Leuchtvermögens der regulär kristallisierenden natürlichen Zinkblende und ihrer künstlichen Herstellung durch Sidot (1866). Seit diesen Entdeckungen haben die Naturforscher nicht aufgehört, sich mit diesen merkwürdigen Erscheinungen zu beschäftigen. Wichtig sind von älteren Arbeiten vor allen diejenigen von Dufay, Lemery, Wollaston, Ritter, Marggraf und Dessaignes und besonders die in seinem Buch La lumière, ses causes et ses effets niedergelegten, sehr ausführlichen Studien E. Becquerels.

3. Beobachtung der Phosphoreszenz. Fördernd für die Feststellung der Phosphoreszenzfähigkeit zahlreicher Stoffe war die Vervollkommnung der Methoden zu ihrer Beobachtung. Früher mußte man sich mit dem diffusen Tages- und dem Sonnenlicht begnügen. Jetzt dienen dazu in erster Linie starke künstliche Lichtquellen, wie das Auerlicht, das Magnesiumlicht, der Kohlebogen, die Quarzquecksilberlampe, welche auch noch eine Erregung schwach lumineszierender Stoffe ermöglichen, und vor allem das Phosphoroskop, welches auch die Phosphoreszenzen sehr kurzer Dauer beobachten läßt. Das Prinzip des Apparates, mit dem Becquerel noch ein Nachleuchten von nur 0,0002 Sekunden Dauer, Wiedemann, der es vervollkommnete, ein solches von 0,000001 Sekunden Dauer beobachten konnte, ist im Artikel „Lumineszenz" Bd. VI S. 519 näher erläutert. Man kann die Anwendung des Phosphoroskops umgehen, indem man als Lichtquelle die für das Auge so gut wie unsichtbaren ultravioletten Strahlen verwendet. Dann kann man die Beobachtung während der Belichtung vornehmen und so Phosphoreszenzen von kürzester Dauer beobachten. Eine nur ultraviolettes Licht aussendende Lichtquelle kann man sich durch Abblenden einer an ultravioletten Strahlen reichen Quecksilberlampe mit Hilfe der sogenannten Woodschen Filter herstellen. Aehnliche Dienste leisten die ebenfalls unsichtbaren Kathodenstrahlen oder die Strahlung radioaktiver Substanzen (das sogenannte Scintilieren des kristallisierenden Zinksulfides unter der Einwirkung von Radium ist wahr-

Digitized by Google

scheinlich als eine Triboluminineszenzerscheinung aufzufassen). Liegt das Gebiet des Phosphoreszenzlichtes außerhalb dessen der sichtbaren Strahlen, so müssen natürlich die zur Wahrnehmung dieser Strahlen erforderlichen Methoden in Anwendung kommen, um die Phosphoreszenz festzustellen.

4. Vorkommen. Die Stoffe, an denen Phosphoreszenz beobachtet wurde, sind außerordentlich zahlreich und mannigfaltig, und nach dem jetzigen Stand der Forschung läßt sich sagen, daß fast alle festen Körper, allerdings in sehr verschiedenem Grade, unter bestimmten Bedingungen zu phosphoreszieren vermögen. Eine wesentliche Bedingung für das Auftreten der Erscheinung ist die feste Formart des phosphoreszierenden Stoffes. Denn während wir Stoffe mit Fluoreszenz unter festen wie flüssigen Körpern finden, sind die mit einem feststellbaren Nachleuchten ausgestatteten Körper ausnahmslos fest. So ist es auch möglich gewesen, fluoreszierende Flüssigkeiten durch Gelatinieren oder Ausfrieren in phosphoreszierende überzuführen (Wiedemann). Um einen Begriff von der Mannigfaltigkeit der Stoffe zu geben, welche Phosphoreszenzlicht von merklicher Dauer und Intensität auszustrahlen vermögen, seien hier die folgenden Beispiele angeführt: Salze der Alkalien und Erdalkalien (insbesondere die Sulfide der Erdalkalien, sogenannte Erdalkaliphosphore), kristallisiertes Zinksulfid, zahlreiche Mineralien, besonders der Chlorophan, Arragonit, Kreide, Magnesia, Diamant, ferner geschmolzenes Aetznatron, Alaun, Borsäure, Arsenik, die Platincyanüre, Uransalze (besonders die Uranylverbindungen) und Glas. Von organischen Substanzen seien genannt: Papier, Seide, Zähne, Zuckerarten, Gummi arabicum, feste Lösungen von Anthracen und Phenantren (letztere besonders bei tiefen Temperaturen), Chininsalze, Aeskulin.

5. Beziehung zur Fluoreszenz (vgl. auch den Artikel „Lumineszenz"). Allerdings bestehen ganz außerordentliche Unterschiede hinsichtlich der Intensität und Dauer des Nachleuchtens, und die moderne Auffassung neigt dazu, die Phosphoreszenz von sehr kurzer Dauer, wie sie beispielsweise bei Uransalzen und den Platincyanüren auftritt, den eigentlichen Fluoreszenzvorgängen an die Seite zu stellen, weil Erregungsart und Ablauf des Leuchtvorganges anderen Gesetzen zu folgen scheinen, als bei den langleuchtenden Leuchtsteinen, Luminophoren oder Phosphoren, für welche die Erdalkaliphosphore als Prototyp gelten können. Da jedoch häufig das Nachleuchten von sehr kurzer Dauer, wie es z. B. für die Uransalze charakteristisch ist, sich auch bei den langleuchtenden Phosphoren über den eigentlichen Phosphoreszenzvorgang lagert, so läßt sich eine reinliche Scheidung der Stoffe nach diesem Gesichtspunkte nicht vornehmen (vgl. den Artikel „Lumineszenz").

6. Verschiedene Arten der Phosphoreszenz. Auch bezüglich der Art des erregenden Lichtes sind große Unterschiede festzustellen. Stoffe, die durch Lichtstrahlen außerordentlich stark erregt werden, leuchten nicht unter dem Einfluß von Kathodenstrahlen, und umgekehrt. Aber auch in dieser Hinsicht ist eine scharfe Trennung der Substanzen nicht möglich, da sehr häufig Erregbarkeit durch verschiedene Strahlenarten bei ein und demselben Stoff festgestellt werden kann, wenn auch, wie gesagt, in sehr verschiedenem Grade. Im allgemeinen läßt sich die Einwirkung der von den Lichtstrahlen verschiedenen Strahlenarten: der Kathodenstrahlen, aber auch der Kanalstrahlen, Röntgenstrahlen und der Strahlung radioaktiver Substanzen so charakterisieren: Ihre Wirkung ist eine viel intensivere, indem häufig durch Lichtstrahlen nur schwer erregbare Stoffe unter ihrem Einfluß zu sehr lebhaftem Leuchten angeregt werden. Andererseits ist der Leuchtvorgang nur von einer sehr kurzen Dauer, also den eben besprochenen Fluoreszenzvorgängen in Lösung an die Seite zu stellen. Daneben wird allerdings hier auch häufig ein längeres Nachleuchten von meist anderer Farbe festgestellt, welches jedoch mit nachweisbaren chemischen Veränderungen der erregten Stoffe verknüpft ist, wie sie bei den durch Licht erregten Leuchtkörpern nie beobachtet werden. Es legt das den Gedanken nahe, daß das Nachleuchten gar nicht dem ursprünglich unter dem Einfluß der Kathodenstrahlen fluoreszierenden Körper, sondern einem sekundär durch das Bombardement der negativen Elektronen (Kathodenstrahlen) oder positiv geladener Massenteilchen (Kanalstrahlen) oder durch beide Wirkungen (Strahlung radioaktiver Stoffe) chemisch veränderten Stoffe zukommt.

7. Allgemeines über physikalische Eigenschaften und chemische Zusammensetzung. Auch die Anordnung der Moleküle innerhalb des festen Körpers (Dichte, Kristallform usw.) scheint für das Zustandekommen der Phosphoreszenz von Wichtigkeit zu sein, wenn auch in sehr vielen Fällen der scheinbare Einfluß rein physikalischer Eigenschaften sich auf chemische Differenzen in der Zusammensetzung der Stoffe hat zurückführen lassen. Fälle, in denen anscheinend die Phosphoreszenz an einen bestimmten physikalischen Zustand des festen Körpers gebunden ist, liegen z. B. vor beim Kohlenstoff, der nur in Form des Diamanten phosphoreszierte, ferner beim Zinksulfid, das nur im kristallisierten Zustand entweder in

Digitized by Google

Form der natürlichen, regulär kristallisierenden Blende oder in Form der künstlich herstellbaren hexagonalen Modifikation, nicht aber im amorphen Zustand luminesziert. Im ganzen hat jedoch die Ansicht Becquerels, daß neben der chemischen Zusammensetzung auch der physikalische Zustand (état moléculaire) des Körpers eine wesentliche Rolle spiele, der Auffassung weichen müssen, daß es in der Hauptsache chemische Faktoren sind, welche die Fähigkeit eines Körpers zu phosphoreszieren bedingen.

Die nicht sehr wahrscheinliche Annahme, welche E. Becquerel auf Grund seiner präparativen Arbeiten an phosphoreszierenden Substanzen machen mußte, daß nämlich die ursprüngliche Kristallform des als Ausgangsmaterial verwendeten natürlichen Erdalkalicarbonates trotz starker chemischer Eingriffe in dem fertigen Sulfid erhalten bliebe und gewissermaßen bestimmend für die Phosphoreszenz des Sulfids sei, führte dazu, der chemischen Analyse phosphoreszierender Substanzen größere Aufmerksamkeit zu schenken.

8. Kathodoluminophore. Als Ergebnis der sehr zahlreichen präparativen und analytischen Arbeiten auf diesem Gebiete kann der Satz gelten, welcher an fast allen Körpern von erheblichem Phosphoreszenzvermögen bewiesen ist, daß reine feste Stoffe die Fähigkeit in dieser Art zu lumineszieren, nicht besitzen. Die Richtigkeit dieses Satzes ergab sich zunächst an zahlreichen kathodolumineszierenden Stoffen. Phosphore aus Calciumoxyd und Aluminiumoxyd zeigen z. B. eine sehr geringe Lumineszenz, wenn sie möglichst rein sind, künstliche Zusätze von etwa 1% und weniger eines Schwermetalls (bei Aluminiumoxyd Chrom, bei Calciumoxyd Kupfer, Chrom, Mangan, Eisen) rufen hingegen eine für ein jedes dieser Metalle charakteristische Phosphoreszenz hervor. Die Wirkung des Schwermetallzusatzes tritt jedoch nur hervor, wenn durch Glühen bei sehr hoher Temperatur für die Bildung einer festen Lösung des betreffenden Metalls in dem im Ueberschuß vorhandenen farblosen Oxyd gesorgt wird. Diese Auffassung, daß die Kathodolumineszenzfähigkeit der Bildung einer festen Lösung eines an sich nicht lumineszierenden Stoffes in einem anderen, ebenfalls inaktiven Material zu verdanken sei, deren Entstehung durch hohe Temperatur begünstigt werde, ist von Lecoq de Boisbeaudran und von Wiedemann und Schmidt an einem sehr zahlreichen Material erwiesen worden. Ueber die praktische Verwertung der Kathodolumineszenz vgl. den Artikel „Lumineszenz" Bd. VI S. 519 bis 520.

9. Erdalkaliphosphore und Zinksulfid. 9a) Chemische Zusammensetzung. Dasselbe auch für die photolumineszierenden Stoffe nachzuweisen, in erster Linie bei den stark und lange leuchtenden bekannten Präparaten der Erdalkalisulfide und des Zinksulfids, war schwierig, weil hier schon außerordentlich geringe Mengen des wirksamen Metalls die Phosphoreszenz bedingen. Es komplizieren sich hier die Verhältnisse auch dadurch, daß ein System von mehr als zwei Stoffen zur Entwickelung der Lumineszenzfähigkeit erforderlich ist. Verneuil, der in den in einem vielfach verwendeten Rezept zur Darstellung des sogenannten Cantonschen Phosphors oder der von Balmain zuerst dargestellten und nach ihm benannten Leuchtfarbe empfohlenen Schalen von Hypopus vulgaris neben etwas Kieselsäure, Kochsalz und Natriumcarbonat und auch etwas Magnesium fand, erwies die Wichtigkeit des Vorhandenseins der festgestellen Natriumsalze für das Zustandekommen der Phosphoreszenz einerseits und zeigte, daß die Phosphoreszenz durch Zusatz von geringen Mengen eines Wismutsalzes wesentlich gesteigert werde und andererseits ein gewisser Gehalt an Calciumsulfat, wie er stets beim Herstellen des Sulfids aus Oxyd und Schwefel resultiere, von Bedeutung sei.

Klarheit in die bis dahin nicht sehr übersichtlichen Verhältnisse bei dem leuchtenden Erdalkalisulfid brachten erst die Arbeiten von Klatt und Lenard und de Visser. Erstere zeigten, daß die stark leuchtenden Erdalkaliphosphore zu betrachten sind als Gemenge dreier wesentlicher Bestandteile: des bei weitem den größten Anteil des Phosphors ausmachenden Erdalkalisulfids, eines in sehr geringen Mengen vorhandenen Schwermetalls und eines ebenfalls nur in sehr geringer Menge notwendigen schmelzbaren Salzes. Die Natur des Schwermetalls und des Erdalkalisulfids ist bestimmend für die Farbe der Phosphoreszenz, während der dritte Stoff als sogenanntes „Schmelzmittel" nur das Eintreten desjenigen physikalisch chemischen Zustandes des Systems Erdalkalisulfid-Schwermetall begünstigt, welcher das Zustandekommen einer Phosphoreszenz von erheblicher Intensität und Dauer ermöglicht. Als besonders wirksame Metalle erkannte man Mangan, Kupfer und Wismut, von denen je nach der Natur des Phosphors Mengen von wenigen Prozent (Mangan) bis zu dem hundertsten Teile dieser Mengen (Kupfer) genügten, um ausgehend von den möglichst weit gereinigten Erdalkalisulfiden unter Zusatz geringer Mengen eines Schmelzmittels die Phosphoreszenz zu höchster Stärke anzufachen.

Als Schmelzmittel kommen hauptsächlich die Salze der Alkalien, aber auch z. B. Fluorcalcium in Betracht. Die Mengen

Digitized by Google

Schwermetall, welche bereits wirksam sind, liegen oft unterhalb der mit gewöhnlichen analytischen Mitteln nachweisbaren Grenze. So ist Kupfer schon in Mengen von 0,000005 Teilen deutlich wirksam, weshalb es trotz sorgfältigster Reinigung nicht gelang, dieses Metall sowie Manganspuren aus den Sulfiden zu entfernen. Auch diejenigen Metallmengen, welche die optimale Leuchtkraft bedingen, liegen noch sehr tief. Sie sind etwas vom Schmelzmittelgehalt abhängig und steigen mit diesem, außerdem sind sie je nach dem Schwermetall einerseits und dem Erdalkali andererseits wesentlich verschieden. Zur Charakterisierung seien einige Zahlen angeführt, die Klatt und Lenard geben:

Für	Blei	im Calciumphosphor	liegt	der	optimale	Gehalt	bei	0,006
„	Bi	im Baryumphosphor	„	„	„	„	bei	0,0002
„	Ag	im Strontiumphosphor	„	„	„	„	bei	0,0001
„	Bi	im Calciumphosphor	„	„	„	„	bei	0,002
„	Mn	im Strontiumphosphor	„	„	„	„	bei	0,00017

Auch das Schmelzmittel scheint seine Wirkung schon bei sehr geringen Mengen zu entfalten. Der Gehalt jedoch, der die optimale Phosphoreszenz bedingt, liegt weit höher als beim Schwermetall. Der Zusatz des Schmelzmittels kann bis zu 0,015, in manchen Fällen bis 0,1 je nach der Art des Sulfids und Schwermetalls betragen, um die optimale Leuchtkraft herbeizuführen.

Der bei der großen Wirksamkeit so geringer Schwermetallmengen außerordentlich schwierig zu erbringende direkte Beweis dafür, daß die reinen Erdalkalisulfide tatsächlich nicht leuchten, konnte nur mit Baryumsulfid erbracht werden, während Calcium auch nach subtilster Reinigung immer wieder schwach leuchtende Sulfide lieferte, deren Phosphoreszenz allerdings bereits durch Zusätze von Minimalmengen, von 0,048 mg Wismut auf 1 g Calciumcarbonat, ganz außerordentlich gesteigert wurde (de Visser).

Einen wichtigen Punkt bezüglich des Chemismus der phosphoreszierenden Erdalkalisulfide betrifft endlich die Tatsache, daß es sich, auch abgesehen von den genannten notwendigen Zusätzen an Schmelzmittel und wirksamem Metall, keineswegs hier um die reinen Sulfide der Erdalkalimetalle handelt, sondern daß alle Phosphore nach ihrer Darstellungsweise mehr oder weniger große Mengen Sulfat oder auch Polysulfid enthalten. Nach Klatt und Lenard ist das Erdalkalisulfid z. B. bei den Calciumphosphoren weitgehend ersetzbar durch Calciumsulfat oder auch Calciumoxyd, ja sogar durch das als Schmelzmittel fungierende Natriumsulfat, ohne merkliche Beeinträchtigung und Abänderung der Phosphoreszenzfähigkeit. Ob das Sulfat das Sulfid als Lösungsmittel vertreten kann oder das Schmelzmittel ersetzt, oder ob es außer beiden Stoffen mit einer weiteren noch unaufgeklärten Funktion ausgestattet das Leuchtvermögen der Phosphore mitbedingt, muß noch als nicht völlig aufgeklärte Frage gelten.

9b) Herstellungsbedingungen. Ueber den Zustand des Schwermetalls in dem Sulfid, die Rolle des sogenannten Schmelzmittels, dessen Notwendigkeit auch anderweitig mit Sicherheit konstatiert wurde, und die Bedeutung der hohen Darstellungstemperatur, haben Versuche von Waentig Aufklärung gebracht. Man hat es aller Wahrscheinlichkeit nach bei den Phosphoren mit bei gewöhnlicher Temperatur übersättigter Lösung des Schwermetalls in irgendeiner Form in dem Erdalkalisulfid als Lösungsmittel zu tun, deren Bildung durch das Schmelzmittel einerseits und die hohe Darstellungstemperatur begünstigt wird. Dies geht besonders daraus hervor, daß das Schwermetall nur in einer von der Darstellungstemperatur abhängigen Menge zu wirksamer Lösung von dem Sulfid aufgenommen wird und Erhitzungsdauer und Abkühlungsgeschwindigkeit hier eine ähnliche Rolle spielen, wie etwa bei den Kohlenstoffeisenlegierungen. Kompliziert werden die Verhältnisse nur dadurch, daß sich über diese wesentlichen Vorgänge mit Zunahme der Darstellungstemperatur immer merklicher in die Erscheinung tretende Nebenwirkungen lagern, welche dazu führen, daß bei konstanter Abkühlungsgeschwindigkeit für jede Erhitzungsdauer einerseits und jeden Schwermetallgehalt andererseits eine bestimmte Temperaturgrenze existiert, bei der unter sonst gleichen Bedingungen ein optimal leuchtendes Sulfid erhalten wird. Diese komplizierten Verhältnisse erschweren natürlich die Darstellung gut leuchtender Phosphore und erklären die große Anzahl der in der Literatur vorhandenen Herstellungsrezepte, die der Hauptsache nach rein empirischer Natur sind.

9c) Druckwirkung. Es ist wahrscheinlich, daß die schon von Becquerel und Verneuil beobachtete und von Lenard und Waentig fast gleichzeitig für die Erdalkalisulfide erkannte eigentümliche Empfindlichkeit des Phosphoreszenzvermögens gegen Druck mit der durch die Uebersättigung sich ergebenden Unbeständigkeit der Sulfide im Zusammenhang steht. Verreibt man nämlich die Sulfide unter Druck

Digitized by Google

in der Reibschale, so nimmt das sich bildende Pulver eine der Phosphoreszenzfarbe komplementäre Farbe an, während das Phosphoreszenzvermögen so gut wie verschwindet. Dieser Vorgang ist jedoch umkehrbar, da durch Erhitzen des Pulvers die ursprüngliche Phosphoreszenz unter Verlust der entstandenen Körperfarbe wieder erhalten werden kann. Diese Erscheinungen scheinen in Zusammenhang zu stehen mit den reversiblen Farbänderungen, die bei mit Kadmium verunreinigtem Zinkoxyd unter der Einwirkung von Kanalstrahlen und bei Alkali- und Erdalkalisalzen unter der Einwirkung von Kathodenstrahlen beobachtet worden sind.

Neuerdings scheint auch das phosphoreszierende Zinksulfid in seiner Konstitution auf das Schema der Erdalkaliphosphore zurückgeführt werden zu können, indem eine Anzahl wirksamer Metallzusätze festgestellt wurden, zu denen Kadmium, Mangan und Zinn zu rechnen sind, während Metalle wie Eisen, Nickel, Kobalt, Wismut, Chrom und Kupfer, direkt nachteilig wirken sollen.

Diese Entwickelung legt es nahe, auch für die vorläufig noch als reine Substanzen geltenden natürlichen Phosphore, wie Diamanten u. dgl., minimale in Form fester Lösung vorhandenen Verunreinigungen als wirksame, für die Ausbildung des Phosphoreszenzvermögens notwendige Bestandteile anzunehmen.

10. Phosphoreszenzlicht. Die Farbe des Phosphoreszenzlichtes kann je nach der Zusammensetzung des Phosphors außerordentlich verschieden sein und es ist wohl möglich, alle nur denkbaren Farbnuancen zu erzielen, vor allem, wenn man auch Mischungen verschiedener Phosphore in den Kreis der Betrachtung zieht. Im folgenden seien einige stark leuchtende Präparate aus der Gruppe der Sulfide angeführt:

CaNi + CaF_2	leuchtet	rot
BaCn + Alkalisalz	„	orangerot
SrPb + Natriumsalz	„	gelb
SrCu + Alkalisalz	„	gelbgrün
SrBi + CaF_2	„	grün
CaCu + Lithiumsalz	„	blaugrün
CaBi + Natriumsalz	„	indigoblau
CaCu + K_2SO_4	„	blauviolett
ZnS	„	gelb bis grün in allen Nüancen.

Untersucht man das Phosphoreszenzlicht langleuchtender Phosphore, insbesondere dasjenige der Erdalkalisulfide spektral, so ergibt sich, daß das Spektrum derselben im allgemeinen mehrere leuchtende Gebiete zeigt, welche etwa als die Umkehrung der Absorptionsgebiete eines Absorptionsspektrums anzusehen und von Lenard und Klatt deshalb als Phosphoreszenzbanden bezeichnet worden sind. Im allgemeinen liegen diese Banden im sichtbaren Teile des Spektrums, doch sind auch solche beobachtet worden, die im Ultraviolett oder im Ultrarot gelegen sind.

10a) Beziehung zu erregenden Strahlung. Was die Beziehung zwischen der Natur des erregenden und erregten Lichtes anlangt, so hat jeder Phosphor seine bestimmte spektrale Erregungsverteilung und dasselbe gilt weiterhin von jeder einzelnen Bande des Phosphoreszenzspektrums, d. h. mit anderen Worten, jedes Emissionsgebiet eines phosphoreszierenden Stoffes wird von einer bestimmten Strahlengruppe, und zwar nur von dieser erregt. Nur wenige der starken Emissionsmaxima werden durch Teile des sichtbaren Spektrums angefacht, woraus folgt, daß die Bestrahlung mit ultravioletten Lichtquellen zur Erregung phosphoreszierender Stoffe besonders vorteilhaft ist. Magnesiumlicht, das Licht der Quecksilberbogenlampe, der Kohlebogen sind daher zur Erregung der Phosphore besonders geeignet, doch gibt es auch phosphoreszierende Substanzen, die durch Tageslicht besser erregt werden.

Eine schon von Stokes erkannte Regelmäßigkeit scheint praktisch allgemeine, wenn auch nicht ausnahmslose Gültigkeit zu haben, daß nämlich das erregende Licht stets eine stärkere Brechbarkeit besitzt, als das durch dieses Licht erzeugte Phosphoreszenzlicht. Streng scheint jedoch dieser Satz nur zu gelten, wenn man ihn auf die Maxima der einander entsprechenden erregenden und erregten Spektralgebiete anwendet.

Treffen andererseits langwellige Strahlen auf einen phosphoreszierenden Körper, so wird die Phosphoreszenz ausgelöscht. Diese auslöschende Wirkung ist am stärksten bei den ultraroten Strahlen, und es ist auf diese Weise möglich gewesen, sogenannte Phosphorographien ultraroter Spektren, z. B. derjenigen der Sonnenstrahlen, herzustellen. Dies geschieht, indem man einfach das durch geeignete Prismen zerlegte Sonnenlicht auf einen phosphoreszierenden Schirm fallen läßt, dann wird an den von ultraroten Strahlen beleuchteten Stellen die Phosphoreszenz verschwinden. Lenard erklärt die auslöschende Wirkung der ultraroten Strahlen für identisch mit der Wärmewirkung, die ein rasches Abklingen der Phosphoreszenz bedingt. Doch scheint das Auftreten der Schwächung durch eine Lichtart auch von dem Erregungsgrade des Phosphors abhängig zu sein, indem z. B. eine Lichtart, welche auf den stark erregten Phosphor schwächend wirkt, den nur schwach erregten nicht zu beeinflussen vermag.

Digitized by Google

10b) Beziehung zur chemischen Zusammensetzung. Die Lage der Phosphoreszenzbanden und die Natur des erregenden Lichtes ist einzig bestimmt durch das System Schwermetall-Erdalkalisulfid. Der Schmelzmittelzusatz kann nur insofern farbbestimmend wirken, als er das relative Stärkenverhältnis der Banden eines Phosphorphosphors zueinander bezw. die Dauer ihres Nachleuchtens und ihrer Intensität beeinflussen kann. Die Art der Beeinflussung des Phosphoreszenzlichtes durch die Zusätze zeigt gewisse Regelmäßigkeiten, die einerseits von der chemischen Zusammensetzung des Zusatzes, andererseits von der Natur des Phosphors abhängen. Während nämlich z. B. die Farbe der Zink-, Wismut-, Manganphosphore durch den Zusatz so gut wie nicht modifiziert wird, ist bei Blei- und Kupferphosphoren der Zusatz von sehr großem Einfluß. Es scheint nach dem Gesagten erklärlich, wenn in vielen zur Darstellung von phosphoreszierenden Substanzen gegebenen Rezepten die gleichzeitige Anwendung mehrerer Schmelzmittel empfohlen wird.

10c) Analytische Bedeutung. Diese weitgehende Definiertheit eines Phosphoreszenzspektrums durch das in dem Phosphor befindliche aktive Schwermetall liefert eine Analogie zu dem Verhalten glühender Metalldämpfe und die hier ebenso wie dort konstatierte Wirksamkeit des Metalls noch in großer Verdünnung legte es nahe, die Phosphoroskopie ähnlichen Zwecken dienstbar zu machen wie die Spektroskopie der leuchtenden Metalldämpfe. Besonders eignet sich hierzu die noch stärkere Effekte liefernde Kathodolumineszenz und in der Tat hat in der Hand von Crookes und Urbain die Beobachtung der Phosphoreszenzspektra zur Trennung schon bekannter seltener Elemente, wie Gadolinium, Dysprosium, Terbium. Didymium und Samarium und zur Auffindung neuer Elemente (Europium) wertvolle Dienste geleistet, wie sie auch in der Mineralanalyse schon mehrfach mit Erfolg angewendet wurde (vgl. hierzu den Artikel „Lumineszenz", Bd. VI, S. 519).

10d) Einfluß der Temperatur vgl. hierüber den Artikel „Lumineszenz" S. 520f.

11. Theoretisches. Die älteste Auffassung über die Natur des Phosphoreszenzvorganges, wonach der Phosphor einem Schwamme vergleichbar sei, der ähnlich wie dieser das Wasser, das Licht aufsaugen und unter gegebenen Bedingungen wieder abgeben könne, bedeutet natürlich nichts als eine rohe Analogie. Der Versuch, die Phosphoreszenz als einen Resonanzvorgang aufzufassen, ist als gescheitert zu betrachten, da es trotz eifriger Bemühungen nicht gelang, die experimentellen Befunde über den zeitlichen Ablauf der Leuchterscheinungen wie der Lichtaufnahme mit den Gesetzen der Resonanz in Einklang zu bringen. An Stelle dieser physikalischen Theorie ist eine mehr chemische getreten, der man durch folgendes Schema einen allgemeinen Ausdruck geben kann:

$$A \xrightarrow{\text{Licht}} B$$
$$B \xrightarrow{\text{Phosphoreszenz}} C$$

Dieses Schema würde gemeinhin besagen, daß der Vorgang der Phosphoreszenz als ein photochemischer Prozeß zu betrachten ist, bei dem ein Körper A unter dem Einflusse des Lichts in einen anderen B übergeht, der seinerseits sich in einen dritten Körper C unter Ausstrahlung von Licht verwandelt. Damit wäre der Phosphoreszenzvorgang in zwei Teilvorgänge zerlegt, die zu längst bekannten und eingehend untersuchten Vorgängen zu zählen sind, die Veränderung eines im Dunkel beständigen Stoffes im Licht und eine mit Lichtentwickelung verknüpfte chemische Reaktion. Das Besondere im Phosphoreszenzvorgang wäre nur, daß die beiden sonst getrennt beobachtbaren Vorgänge hier ursächlich verknüpft in die Erscheinung treten. Jedoch ist es bisher nicht möglich gewesen, an einem phosphoreszierenden Stoff chemische Veränderungen nachzuweisen, die mit dem Leuchtvorgang in Zusammenhang stehen müssen. Allerdings ist, wie erwähnt, die Einwirkung gewisser Strahlenarten, wie Kathoden-, Kanal- und Röntgenstrahlen häufig mit einer chemischen Veränderung des phosphoreszierenden Körpers verknüpft, unter denen vor allem die unter der Einwirkung der Kathodenstrahlen eintretende Dissoziation der Alkalihalogenide hier erwähnt sein möge. Aehnliche Veränderungen zeigen jedoch auch nichtlumineszierende Stoffe, so daß ein Zusammenhang zwischen dem chemischen Vorgang und der Lumineszenz zum mindesten fraglich ist. Es bliebe dann noch die Auffassung übrig, daß infolge der Kleinheit des durch die Strahlung verursachten Energieumsatzes die chemischen Aenderungen zu gering seien, um sich mit einfachen analytischen Methoden nachweisen zu lassen. Da es jedoch möglich ist, durch sehr lange Bestrahlung den anfänglich kleinen Energieumsatz beliebig zu vergrößern und es auch so nicht gelang, Veränderungen festzustellen, so wird diese Erklärung ziemlich hinfällig.

Das obige Schema läßt sich aber mit diesem Befunde in Einklang bringen, wenn man annimmt, daß sich B nicht in den dritten Stoff C, sondern in den lichtempfindlichen Stoff A zurückverwandelt. Dann wird nach noch so langer Bestrahlung der

Digitized by Google

ursprüngliche Zustand im Dunkeln wieder erreicht: Der Leuchtkörper zeigt keine „Ermüdung“.

Welcher Art nun eine derartige umkehrbare photochemische Reaktion sein könnte, damit sie z. B. dem geschilderten komplizierten Verhalten eines Erdalkaliphosphors Rechnung trägt, dafür hat P. Lenard eine Erklärung zu geben versucht, indem er die in einem komplizierten, durch wechselnde Valenzbetätigung seiner Atome modifizierbaren chemischen Molekül durch die Lichtwirkung hervorgerufenen Elektronenvorgänge als die eigentliche Ursache der Phosphoreszenz betrachtet. Die Ursache der Erregung ist danach eine lichtelektrische Wirkung. Bei dem erregten Phosphor sind die in dem empfindlichen Metallatom vorhandenen lichtelektrischen Elektronen entwichen und im Schwefelatom aufgespeichert. Diese Aufspeicherungsfähigkeit des Schwefelatoms ermöglicht das Nachleuchten. Denn erst durch Vermittelung der Wärmebewegung der Atome kehren die Elektronen allmählich zum Metallatom zurück und bedingen so das Eigenleuchten des Phosphors.

Literatur. **E. Becquerel,** *La lumière, ses causes et ses effets. Paris 1867.* — **K. A. Hofmann und W. Ducca,** *Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft. Bd. 37, S. 3407 (1904).* — **H. Kayser,** *Handbuch der Spektroskopie. Bd. IV, Leipzig.* — **V. Klatt und P. Lenard,** *Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge Bd. 38, S. 90, 1889.* — **P. Lenard,** *Annalen der Physik. Bd. 28, S. 476 (1909) und Bd. 31, S. 641 (1910).* — **Lecoq de Boisbaudran,** *Comptes rendus de l'académie des sciences de Paris. Bd. 103—105.* — **J. R. Mourélo,** *Comptes rendus. Bd. 124—129.* — **Sidot,** *Comptes rendus. Bd. 62, S. 999 (1866).* — **L. Vanino,** *Die künstlichen Leuchtsteine. Heidelberg 1906.* — **L. Vanino und J. Gans,** *Journal für praktische Chemie. Neue Folge Bd. 71, S. 196, 1905.* — **A. Verneuil,** *Comptes rendus. Bd. 103 u. 104.* — **de Visser,** *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas. Bd. 21, S. 435 (1901) u. Bd. 22, S. 133 (1903).* — **P. Waentig,** *Zeitschrift für physikalische Chemie. Bd. 51, S. 435 (1905).* — **E. Wiedemann und G. C. Schmidt,** *Annalen der Physik und Chemie. Bd. 54, S. 604 (1895); Bd. 56, S. 201 (1895); Bd. 64, S. 78 (1898).*

P. Waentig.

Photochemie.

1. Begriff. 2. Einteilung. 3. Messung der chemischen Lichtwirkung. 4. Spezielle arbeitsspeichernde photochemische Reaktionen. 5. Spezielle spezifische Lichtreaktionen. 6. Spezielle katalytische Lichtreaktionen. 7. Photochemische Nachwirkungen. 8. Optische Sensibilisatoren. 9. Chemische Sensibilisatoren. 10. Physiologische Wirkungen des Lichts und photodynamische Erscheinungen. 11. Lichtelektrische Erscheinungen. 12. Photochemische Untersuchungsmethoden. 13. Ergebnisse quantitativer photochemischer Versuche. 14. Energetische Behandlung von Lichtreaktionen. 15. Praktische Verwertung der Lichtenergie. 16. Theorie.

1. Begriff. In der Photochemie faßt man ganz allgemein alle diejenigen Erscheinungen zusammen, bei denen Lichtstrahlen und irgendein chemischer Vorgang in einem ursächlichen Zusammenhang stehen. Demnach gehören zu diesem Kapitel sowohl die chemischen Veränderungen, welche durch die Strahlen irgendwelcher Wellenlänge hervorgebracht werden, als auch die chemischen Reaktionen, welche unter Emission von Strahlen verlaufen. Da die chemischen Effekte direkt mit der Stahlung verbunden sind, so ist es nötig, auch die Theorie der Strahlung gleichzeitig zu behandeln. Da dieses Gebiet aber an anderer Stelle besprochen wird, sollen die photochemischen Erscheinungen hier nur von chemischen Gesichtspunkten aus wiedergegeben werden, und zwar nur die durch Bestrahlung hervorgerufenen chemischen Vorgänge. Die Lumineszenzreaktionen, chemische Vorgänge, die unter Lichtemission verlaufen, werden im Artikel „Chemilumineszenz“ behandelt. Aus Zweckmäßigkeitsgründen werden auch zwei große Gruppen photochemischer Prozesse, welche ein selbstständiges Interesse beanspruchen, die phototropen Veränderungen und die Vorgänge, welche der Photographie zugrunde liegen, an besonderer Stelle besprochen werden (siehe die Artikel „Phototropie“ und „Photographie“).

2. Einteilung. Man kann die Einteilung der photochemischen Prozesse von chemischen und energetischen Gesichtspunkten aus durchführen. Sämtliche Reaktionsgruppen der Chemie lassen sich zur Einteilung photochemischer Reaktionen verwenden und man spricht demnach u. a. von photochemischen Oxydationen, Reduktionen, Chlorierungen, allotropen Umwandlungen der Elemente, von Isomerisationen, Polymerisationen, Synthesen, Spaltungen und Zersetzungen. Die Einteilung nach einem derartigen Prinzip ist einfach durchzuführen, da sie sich bei Kenntnis der chemischen Veränderungen während der betrachteten Lichtreaktion von selbst ergibt. Diese Einteilungsart ist offenbar für den präparativen Chemiker von Interesse, dem Photochemiker sagt sie aber fast gar nichts.

Für die nähere Erforschung der Beziehungen, welche zwischen der Lichtstrahlung und ihrer chemischen Wirkung bestehen, muß die chemische Reaktion energetisch untersucht und quantitativ mit der eingestrahlten Lichtenergie verglichen werden.

Wenn ein chemisches System, das sich unter dem Einfluß der Bestrahlung verändert, nach der Belichtung einen größeren Energieinhalt

Digitized by Google

hat, als vorher, so ist ein gewisser Teil der Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt worden und in dieser Form aufgespeichert. Es ist dies ein arbeitspeichernder photochemischer Prozeß. Wenn andererseits die freie Energie des Systems während der Bestrahlung abnimmt, so ist der Vorgang imstande Arbeit zu leisten, er könnte also theoretisch auch ohne Licht ablaufen und das Licht hat in diesem Fall nur den Zweck die Reaktionsgeschwindigkeit oder den Weg, mit dem das chemische System seinem definitiven Endzustand zustrebt, zu verändern. Es liegt hier ein arbeitleistender photochemischer Prozeß vor. Theoretisch ist auch hier zu jeder Veränderung der Geschwindigkeit oder des Weges eines chemischen Prozesses ein gewisser Aufwand von Energie nötig, der aus dem Licht stammen muß, falls diese Veränderung durch Belichtung bewirkt wurde. Es wird demnach auch bei den arbeitleistenden Vorgängen Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt. Um dies zu ermöglichen, muß also bei jedem photochemischen Prozeß ein Teil des Lichtes von den lichtempfindlichen Substanzen absorbiert werden. Diese wichtige Tatsache, das einzige sichere Grundgesetz der Photochemie wurde zuerst 1818 von Theodor von Grotthus klar ausgesprochen und von Draper 1842 unabhängig von neuem aufgefunden (Absorptionsgesetz). Bei der Behandlung des Stoffes soll von diesen intermediären Umwandlungen der Lichtenergie bei den arbeitsleistenden Prozessen abgesehen werden, da hierüber noch nichts Sicheres bekannt ist, und nur die Veränderung der freien Energie in dem gesamten chemischen Prozeß berücksichtigt werden.

Die arbeitsleistenden photochemischen Vorgänge lassen sich noch einteilen in solche, bei denen der Vorgang im Licht chemisch ganz anders verläuft, als im Dunkeln (Spezifische Lichtreaktionen) und in solche, bei denen nur die Geschwindigkeit eines auch im Dunkeln verlaufenden chemischen Prozesses vergrößert wird. Die Geschwindigkeit im Dunkeln kann unmeßbar klein sein; in diesem letzten Fall wirkt das Licht ähnlich wie ein Katalysator (Katalytische Lichtreaktionen).

Diese verschiedenen Arten von Lichtreaktionen zeigen in ihrem Verlauf und in ihrem Mechanismus eine Anzahl charakteristischer Unterschiede. Da die freie Energie des Systems bei den arbeitspeichernden Prozessen zunimmt, so können sie im Dunkeln in umgekehrter Richtung verlaufen. Man spricht daher auch von umkehrbaren photochemischen Vorgängen. Die einfachsten derartigen Prozesse verlaufen im Licht und im Dunkeln auf demselben Wege, und über dieselben Zwischenprodukte. Bei anderen komplizierteren findet die Rückverwandlung im Dunkeln auf einem anderen Wege statt.

Da bei den arbeitsspeichernden photochemischen Prozessen der Vorgang im Licht den chemischen Kräften entgegen gerichtet ist, wird das gewöhnliche thermodynamische Gleichgewicht verschoben. Es stellt sich im Licht ein neuer bei konstanter Bestrahlung unveränderlicher Zustand ein, der öfters als „photochemisches Gleichgewicht" bezeichnet wird. Er ist durchaus verschieden von dem thermodynamischen Gleichgewichtszustand, da er nur unter dauerndem Zufluß von Lichtenergie aufrecht erhalten werden kann, und sowohl bei Verdunkelung als auch bei Veränderung der Lichtintensität instabil wird. Es ist in Wahrheit ein stationärer Zustand, der durch das Gleichwerden der Reaktionsgeschwindigkeit im Licht in der einen Richtung und der entgegengesetzt gerichteten Geschwindigkeit im Dunkeln zustande kommt. Hieraus folgt, daß der Grad der Verschiebung des gewöhnlichen Gleichgewichts eines lichtempfindlichen Prozesses durch Licht von der Geschwindigkeit der Rückverwandlung im Dunkeln abhängt, und zwar ist die Verschiebung größer, wenn die Dunkelreaktion sehr träge verläuft. Wenn der Vorgang im Dunkeln überhaupt nicht merkbar stattfindet, kann die geringste Lichtmenge schon genügen, eine starke Verschiebung des Dunkelgleichgewichts hervorzurufen. Beim Verdunkeln bleibt dann der gerade vorhandene Zustand unverändert, es liegt ein falsches Gleichgewicht vor. Es ist für die photochemischen Gleichgewichte zum Unterschied von chemischen charakteristisch, daß sie durch die Gegenwart von Katalysatoren verschoben werden können. Die Reaktionsgeschwindigkeit im Dunkeln wird durch solche Substanzen vergrößert.

Die spezifischen Lichtreaktionen, welche unter Arbeitsleistung verlaufen, im Licht aber auf anderem Wege verlaufen und zu anderen Endprodukten führen als im Dunkeln, sind nicht umkehrbar. Man kann sich vorstellen, daß unter dem Einfluß der Bestrahlung intermediär irgendein energiereicheres System entsteht, als im Anfang, und daß dieses dann zu neuen rein chemischen Prozessen fähig ist, die ohne Licht nicht eintreten konnten. Wenn es auch bisher noch in keinem Fall möglich war, die Zerlegung des Gesamtvorgangs in die Einzelprozesse durchzuführen, so ist es doch als sicher anzunehmen, daß sie immer aus zwei oder mehreren photochemischen und rein chemischen Folgereaktionen komplex zusammengesetzt sind.

Die katalytischen Lichtreaktionen, welche gleichfalls im Dunkeln nicht umkehrbar sind, zeigen alle die Eigenschaften der gewöhnlichen katalytischen Reaktionen. Man kann sich vorstellen, daß primär in einer arbeitsspeichernden photochemischen Reak-

Digitized by Google

tion ein Katalysator entsteht, der seinerseits den eigentlichen gemessenen chemischen Vorgang beschleunigt. Dieser könnte auch ohne Licht, aber langsamer, verlaufen. Hiermit steht in Zusammenhang, daß der beobachtete Verlauf in gar keinem Verhältnis zur erregenden Lichtmenge steht, daß also sehr bedeutende chemische Wirkungen, z. B. die Explosion des Chlorknallgases durch eine ganz geringe Belichtung ausgelöst werden können. Die meisten leicht zu beobachtenden und auffallenden chemischen Wirkungen des Lichtes gehören zu den katalytischen Lichtreaktionen.

3. Die Messung der chemischen Wirkung des Lichtes. Die Messung der chemischen Wirkung des Lichts ist mit erheblich größeren Schwierigkeiten verbunden, als z. B. die Messung der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes, trotzdem die Erscheinungen in gewisser Hinsicht analog sind. Es ist noch kein dem Faradayschen Gesetz ähnliches bekannt, welches quantitativ etwas über die Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie aussagt. Da alle Schwingungsformen des Lichtes chemisch wirksam sein können, und da jede eine Energiequelle für sich ist, deren chemische Ausnutzbarkeit außerdem zu den optischen Eigenschaften, speziell der Absorption, der bestrahlten lichtempfindlichen Substanz in Beziehung steht, so sieht man sich sehr komplizierten Erscheinungen gegenüber. Um verschiedene Belichtungen von verschiedener Stärke in bezug auf ihre chemische Wirksamkeit vergleichen zu können, wurde eine Anzahl photochemischer Reaktionen vorgeschlagen, die besonders glatt verlaufen. Es hat sich gezeigt, daß nicht alle Strahlen des Spektrums in gleicher Weise chemisch wirken können; diejenigen, welche diese Eigenschaft am stärksten zeigen, nennt man „aktinische Strahlen". Zur Messung geeignete Reaktionen werden daher als Aktinometerreaktionen bezeichnet. Derartige Vorgänge sind die Vereinigung von Wasserstoff und Chlor, die von Draper und Bunsen und Roscoe benutzt wurde, die Zersetzung des Chlorwassers (Wittwer), die Oxydation der wässerigen Jodwasserstoffsäure, die besonders von Eder untersuchte Reduktion des Quecksilberchlorids durch Ammoniumoxalat und andere photochemische, elektrochemische und photographische Prozesse. Die Angaben derartiger Aktinometer sind jedoch nur mit größter Vorsicht zu verwenden. Sie sind nur befähigt, die chemische Wirksamkeit des Lichtes bei der Reaktion, die sich in dem Aktinometer selbst abspielt, zu ermitteln, da jede andere Reaktion eine andere Lichtabsorption hat und ein anderes spezifisches Umwandlungsvermögen der absorbierten Lichtenergie besitzt. Ein durchgeführter Versuch mit irgendeinem Aktinometer kann demnach nicht als eine Messung einer chemisch verwandelbaren Lichtmenge angesehen werden, sondern nur als ein Beitrag zur Kenntnis der sich in demselben abspielenden photochemischen Reaktion. Da alle Aktinometer im günstigsten Falle einen Verlauf anzeigen, der proportional der auffallenden Lichtintensität ist, so verfährt man in allen Fällen besser und sicherer, direkt die Lichtintensität mittels irgendeines zuverlässigen Photometers zu messen. Eine sehr umfassende Untersuchung wurde von Bunsen und Roscoe auf Grund von Aktinometermessungen durchgeführt. Sie stellten die chemische Wirkung des Himmelslichtes bei bewölktem und unbewölktem Himmel zu verschiedenen Tageszeiten und in verschiedenen Gegenden fest und schrieben den Resultaten als Maß für das „photochemische Klima" eine gewisse Bedeutung zu. Irgendeinen Rückschluß auf die wichtige photochemische Assimilation der Kohlensäure in den grünen Pflanzen erlauben die Messungen jedoch nicht, da für diese Reaktion die gelben und roten Strahlen von Bedeutung sind, während das Aktinometer auf Blau und Violett reagierte. Aehnliche Messungen mittels eines Silberaktinometers stellte Wiesner an und definierte damit den Begriff des „Lichtgenusses" der Pflanzen.

4. Spezielle arbeitspeichernde photochemische Reaktionen. Allotrope Umwandlungen der Elemente. Unter dem Einfluß der ultravioletten Strahlen geht Sauerstoff in Ozon über. Die Umwandlung geht bis zu einem bestimmten Grenzwert, der durch die Rückverwandlung des gebildeten Ozons gegeben ist. Wenn reiner Sauerstoff bestrahlt wird, werden nicht mehr als 4% Ozon gebildet. Der stationäre Zustand liegt bei so niedrigen Konzentrationen, weil die Rückverwandlung des Ozons in Sauerstoff gleichfalls durch ultraviolette Strahlen beschleunigt wird. Es ist wahrscheinlich, daß die Ozonbildung durch stille elektrische Entladung im wesentlichen ein photochemischer Vorgang ist. Durch die Entladung wird äußerst kurzwelliges Licht erzeugt, das die Ozonisierung des Sauerstoffs hervorruft. Auch der Schwefel wird durch Bestrahlung verändert und geht in eine in Schwefelkohlenstoff schwer lösliche Modifikation über. Es handelt sich hier gleichfalls um eine arbeitspeichernde Reaktion und es werden im Licht bestimmte stationäre Zustände erreicht. Die Verhältnisse liegen hier nicht so glatt, wie beim Sauerstoff, da die unlösliche Schwefelmodifikation noch nicht sicher als einheitlicher Stoff definiert ist. Noch verwickelter ist der chemische Verlauf der photochemischen Veränderung bei den höheren Gliedern der 6. Gruppe des periodischen Systems Selen und Tellur. Die im Licht ent-

Digitized by Google

stehenden allotropen Modifikationen sind noch nicht sicher isoliert worden. Es geht jedoch mit den beiden Elementen im Licht eine physikalische Veränderung vor sich, welche einen Rückschluß auf den chemischen Vorgang erlaubt. Die elektrische Leitfähigkeit vergrößert sich im Licht und geht beim Verdunkeln wieder auf ihren ursprünglichen Betrag zurück, es liegt also ein umkehrbarer Prozeß vor. Speziell beim Selen ist diese Eigenschaft sehr ausgesprochen und findet vielfache technische Anwendung. Man ist durch geeignete Relais imstande, intermittierende Belichtungen einer sogenannten „Selenzelle" in intermittierende elektrische Ströme umzusetzen und auf größere Entfernungen fortzuleiten. Man macht hiervon unter anderem bei den verschiedenen Konstruktionen der Apparate für elektrische Fernphotographie Gebrauch. Es wird angenommen, daß das Gleichgewicht zweier kristallisierter Modifikationen des Selens durch die Belichtung verschoben wird.

Dissoziationen. Eine Reihe von Gasen erleiden durch Bestrahlung mit sehr kurzwelligem Licht eine teilweise Dissoziation. Hierzu gehören Chlorwasserstoff, Wasserdampf, Kohlendioxyd, Ammoniak, Schwefeltrioxyd bei höheren Temperaturen und Phosgen. Der stationäre Grenzwert der Dissoziation liegt bei HCl und $COCl_2$ bei einer kleinen Konzentration der Dissoziationsprodukte, weil die Wiedervereinigung von Chlor mit Wasserstoff und Kohlenoxyd im Licht stark beschleunigt wird. Auch bei Wasserdampf, Kohlendioxyd und SO_3, die bei der Dissoziation Sauerstoff abspalten, wird der stationäre Dissoziationszustand dadurch ziemlich niedrig gehalten, daß die Oxydation des Wasserstoffs, des Kohlenoxyds und der schwefligen Säure im Licht beschleunigt wird. Beim Kohlenoxyd hat auch der Feuchtigkeitsgrad der Gasmischung einen Einfluß. Da nämlich feuchtes Kohlenoxydknallgas leichter reagiert, als trockenes, geht die Dissoziation bei der gleichen Bestrahlung im letzten Fall weiter als im ersten. Die Dissoziation des Ammoniaks im Licht ist eine sehr weitgehende, weil die Dissoziationsprodukte Stickstoff und Wasserstoff wenig Neigung haben, sich wieder zu vereinigen.

Als eine weitere sehr wichtige arbeitspeichernde Dissoziation ist die Spaltung der Halogenverbindungen des Silbers Chlorsilber, Bromsilber und Jodsilber in die freien Halogene und halogenärmere Silberverbindungen anzusehen. Im Dunkeln bilden sich die Ausgangsstoffe wieder zurück. Wenn man annimmt, daß die entstehende Silber-Chlor-Verbindung Silbersubchlorid ist, findet die Reaktion nach folgender Gleichung statt:

$$2\,AgCl \underset{\text{(dunkel)}}{\overset{\text{(Licht)}}{\rightleftarrows}} Ag_2Cl + Cl$$

Ein analoges Reaktionsschema gilt auch für die anderen Halogenderivate. Das Silbersalz wird durch das Licht teilweise reduziert und es entsteht ein Oxydationsmittel. Wenn es gelingt, das Oxydationsmittel, in diesem Falle also das freie Halogen durch ein Reduktionsmittel wegzufangen, so wird die Reaktion von rechts nach links in obiger Gleichung unmöglich gemacht und die Zersetzung des Halogensilbers durch das Licht kann weiter fortschreiten, als bei Abwesenheit dieses Reduktionsmittels. Auf dieser Lichtempfindlichkeit der Silbersalze und auf der Beschleunigung der Lichtreaktion durch Reduktionsmittel beruhen im wesentlichen die modernen photographischen Negativprozesse und eine Anzahl von Positivverfahren (vgl. den Artikel „Photographie"). Auch andere Silbersalze sind lichtempfindlich und besonders bei den Silbersalzen der organischen Säuren geht die chemische Reduktion des Silberions durch das Licht sehr weit, da der organische Rest gleichzeitig als Reduktionsmittel wirkt.

Ionisation der Gase. Als eine photochemische Dissoziation im weitesten Sinne ist auch die Ionisation der Gase durch ultraviolettes Licht aufzufassen. Hier werden durch die Bestrahlung die Gleichgewichtsverhältnisse im Atom und in der einfachen Gasmolekel gestört. Es entstehen Gasionen und die Gase werden in den elektrisch leitenden Zustand versetzt. Hierbei spaltet sich primär ein ungeladenes Atom oder Molekül in ein Elektron und den positiv geladenen Rest. Das Elektron kann dann mit anderen neutralen Teilchen zu negativen Gasionen zusammentreten. Außer diesen + und — geladenen Ionen entstehen durch die Bestrahlung auch größere ungeladene Komplexe, die als Nebelkerne (d. h. Keime für die Kondensation von Dämpfen) wirken können. Die Rückbildung der ursprünglichen neutralen Teilchen findet nach rein chemischen Gesichtspunkten statt, und der stationäre Zustand, der Grad der Ionisation des Gases, ist durch die Geschwindigkeit dieser Dunkelreaktion gegeben.

Außer den besprochenen einfachen Dissoziationen können auch andere arbeitspeichernde chemische Prozesse durch das Licht bewirkt werden. Hierzu gehört die Entstehung des Wasserstoffsuperoxyds durch Bestrahlung von Wasser. Der primäre Vorgang ist hier offenbar die einfache Zersetzung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff, während das H_2O_2 sich erst sekundär, vielleicht unter Mitwirkung photochemisch entstandenen Ozons bildet. Ein Beispiel aus der organischen Chemie ist die photochemische Reaktion der Derivate des Triphenylmethans mit Derivaten des Triphenylchlormethans unter Bildung der entsprechenden Triphenylmethyle

Digitized by Google

und Abspaltung von Chlorwasserstoff. Im Dunkeln vereinigen sich die sehr reaktionsfähigen Derivate des dreiwertigen Kohlenstoffs wieder mit den Bestandteilen des Chlorwasserstoffs unter Rückbildung der Ausgangsmaterialien. Es stellt sich ein stationärer Zustand ein, der in Anbetracht der großen Reaktionsgeschwindigkeiten der Dunkelreaktion bei einer sehr kleinen Konzentration der gefärbten Triphenylmethylderivate liegt. Der Effekt ist also derartig, daß sich unter dem Einfluß des Lichtes das farblose Ausgangsgemisch färbt und sich im Dunkeln wieder entfärbt. Der Vorgang verläuft für die Diphenyl-monobiphenyl-Derivate nach folgender Gleichung:

$$\begin{matrix}(C_6H_5)_2\\C_6H_5.C_6H_4.\end{matrix}\!\!>CH + ClC\!<\!\!\begin{matrix}(C_6H_5)_2\\C_6H_4.C_6H_5\end{matrix} \underset{\text{dunkel}}{\overset{\text{Licht}}{\rightleftharpoons}} \begin{matrix}(C_6H_5)_2\\C_6H_5.C_6H_4\end{matrix}\!\!>C\ldots C\!<\!\!\begin{matrix}(C_6H_5)_2\\C_6H_4.C_6H_5\end{matrix} + HCl.$$

Andere organische arbeitspeichernde photochemische Vorgänge gehören in die Gruppe der **Polymerisationen und Isomerisationen**. Der am besten untersuchte Fall ist die Kondensation des Anthracens zum dimolekularen Produkt, dem Dianthracen.

$$2C_{14}H_{10} \underset{\text{(dunkel)}}{\overset{\text{(Licht)}}{\rightleftharpoons}} C_{28}H_{20}$$

Da bei höheren Temperaturen das gelöste Dianthracen sich in Anthracen zurückverwandelt, konnten die stationären Konzentrationen des Zustandes und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Versuchsbedingungen quantitativ verfolgt werden. Aehnliche Verhältnisse liegen offenbar auch bei einigen Anthracenderivaten, wie Methylanthracen, sowie bei dem analog konstituierten Akridin vor. Andere organische Substanzen, welche eine Doppelbindung enthalten, polymerisieren sich gleichfalls im Licht. So geht u. a. nach Lemoine das Styrol in Metastyrol, die Zimtsäure in die dimolekulare α-Truxillsäure (Riiber), die Cinnamylidenmalonsäure in ein dimolekulares Produkt über (Liebermann). Die Polymerisation des Styrols findet allerdings auch im Dunkeln mit merklicher Geschwindigkeit statt. Alle diese Polymerisationsprodukte haben nun die gemeinsame Eigenschaft, daß sie sich bei erhöhter Temperatur wieder in das Monomere zurückverwandeln, so daß hier äußerlich ganz analoge Verhältnisse vorliegen, wie beim Anthracen Es wäre nun sehr interessant, ob bei diesen Reaktionen wirklich eine Energieaufspeicherung durch die Bestrahlung stattfindet. Nur wenn bei irgendeiner konstanten Temperatur der Vorgang umkehrbar wäre, wäre die Gleichgewichtsverschiebung wirklich bewiesen. Für die Anthracenhomologen, die Zimtsäure und ihre Derivate, scheint dies wahrscheinlich zu sein, beim Styrol dagegen nicht.

Eine Anzahl Substanzen lagern sich in Lösung unter der Einwirkung des ultravioletten Lichts in stereoisomere labile Modifikationen um. Die entstehenden Substanzen können durch verschiedene Mittel, durch die Belichtung selbst oder durch Katalysatoren wieder in die stabilen Ausgangsstoffe zurückverwandelt werden.

Bei den wenigen hier wiederzugebenden Beispielen geschieht bei den als reversibel gekennzeichneten Fällen die Rückverwandelung in das stabile Isomere durch Licht. Methyl-Cumarsäure ⇄ Methyl-Cumarinsäure, Methyl-Cumarsäureamid → Methyl-Cumarinsäureamid, Acetyl-Cumarsäure → Acetyl-Cumarinsäure, o-Nitro-Cumarsäure-Dimethylester ⇄ o-Nitro-Cumarinsäure-Dimethylester, Methoxy-Zimtsäure ⇄ Allo-Methoxy-Zimtsäure, Methoxy-Zimtsäureamid ⇄ Alloform, Fumarsäure ⇄ Maleinsäure, β-Phenyl-β-Anisyl-Acrylsäure → Alloform, die Ester, das Amid und die Alkylamide → Alloformen (die Amide ⇄), Zimtsäure → Isozimtsäure.

Andere einfache umkehrbare Lichtreaktionen liegen den Phototropieerscheinungen beim Chinochinolinchlorhydrat und beim β-Tetrachlor-α-Ketonaphthalin zugrunde. Ersteres ändert seine Farbe im Licht von gelb nach grün, letzteres von farblos nach rotviolett. Die Farbänderungen gehen im Dunkeln wieder zurück. Aehnliche Reaktionen zeigen einige Aldehydphenylhydrazone, deren Lichtempfindlichkeit schon von E. Fischer bei der Entdeckung des Benzaldehydphenylhydrazons beobachtet worden war.

Da diese Erscheinungen bis jetzt nur an den festen Substanzen beobachtet worden sind, ist die chemische Natur der hier wahrscheinlich vorliegenden Isomerisationen noch nicht aufgeklärt. Näheres siehe im Artikel „Phototropie".

Assimilation. Die Assimilation der Kohlensäure in den grünen Pflanzen ist der wichtigste arbeitspeichernde photochemische Vorgang, durch welchen die strahlende Energie der Sonne in chemische Energie umgewandelt und so für den Ablauf aller Lebensprozesse auf der Erde nutzbar gemacht wird. Wie aus der Bruttogleichung:

$$xCO_2 + xH_2O + \text{Licht} = C_xH_{2x}O_x(\text{Stärke}) + xO_2$$

hervorgeht, sind die durch das Licht entstehenden Produkte, Stärke und Sauerstoff, imstande sich wieder zu den Ausgangsmaterialien Wasser und Kohlensäure zu vereinigen. Die bei diesem Verbrennungsvorgang frei werdende Energie, die je nach den Versuchs-

Digitized by Google

bedingungen mehr oder weniger vollkommen gewonnen werden kann, stammt indirekt aus dem Sonnenlicht. Der Reaktionsmechanismus dieses Vorgangs ist im einzelnen noch nicht aufgeklärt. Einige wichtige Tatsachen seien hier mitgeteilt.

Schon am Ende des 18. Jahrhunderts war von Priestley, Senebier und Ingenhousz richtig erkannt worden, daß belichtete grüne Pflanzen Sauerstoff abscheiden, und daß dieser aus der Kohlensäure der Luft stammt. Als erste sichtbare Abscheidung in den grünen assimilierenden Pflanzenzellen wurden Stärkekörner beobachtet. Der Vorgang ist untrennbar an die Gegenwart des Chlorophylls geknüpft, und Engelmann konnte nachweisen, daß die assimilatorische Tätigkeit sofort mit der Zerstörung der Chlorophyllsubstanz aufhört. Sie scheint mit Sicherheit an die Gegenwart des unzerstörten Chloroplastenstromas gebunden und innig mit dem Pflanzenleben verknüpft zu sein. Jedenfalls konnte in bestrahlten Chlorophyllextrakten wohl ein Ausbleichen des Farbstoffs unter gleichzeitiger Reduktion des Kohlendioxyds beobachtet werden, niemals jedoch eine dauernde Assimilationstätigkeit im Licht.

Es soll an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß bei dem Assimilationsvorgang das Chlorophyll natürlich nicht als ein Katalysator fungieren kann, wie häufig behauptet wird. Das Charakteristische eines solchen ist ja die Fähigkeit, von selbst in der Richtung der chemischen Kräfte verlaufende Reaktionen zu beschleunigen, während die Kohlendioxydreduktion, als welche der Assimilationsvorgang aufzufassen ist, bei gewöhnlicher Temperatur ein gegen die chemischen Kräfte verlaufender Prozeß ist. Das Chlorophyll muß demnach in irgendeiner Weise selbst an der Reaktion beteiligt sein, und zwar scheint dies in Wechselwirkung mit dem unverletzten Stroma zu geschehen, dessen morphologische Verhältnisse möglicherweise an der starken Potentialerhöhung, wie sie bei vielen biologischen Prozessen beobachtet werden, beteiligt sind.

Die Frage, ob das erste sichtbare Assimilationsprodukt, die Stärke, auch tatsächlich primär in der photochemischen Reaktion entsteht, ist viel diskutiert worden. Baeyer vermutet, daß Formaldehyd das erste intermediäre Produkt der Assimilation ist, welches sich dann später zu höheren Kohlenhydraten, deren einfachster Vertreter es ist, polymerisiert. Für die Möglichkeit dieser Polymerisation zu Stärke wurden in neuer Zeit von Bokorny experimentelle Beweise erbracht. Erlenmeyer stellte die allerdings experimentell noch nicht genügend gestützte Vermutung auf, daß die ersten Assimilationsprodukte Ameisensäure und Wasserstoffsuperoxyd seien. Baur glaubte Oxalsäure dazu rechnen zu müssen, aus der dann Ameisensäure und Formaldehyd entstehen können.

Da die Chemie der Zwischenprodukte der Assimilation noch nicht geklärt ist, beschränken sich die bisherigen Untersuchungen im wesentlichen auf die Beschreibung des Einflusses der Veränderungen der Menge der Ausgangsprodukte und der Versuchsbedingungen auf die Endprodukte Stärke und Sauerstoff. So wurde festgestellt, daß sowohl durch Steigerung des Partialdrucks der Kohlensäure, als auch durch Steigerung der Temperatur die pro Zeiteinheit cet. par. assimilierte Kohlensäuremenge bis zu einem Maximum steigt, welches möglicherweise durch das Absterben der Blätter bedingt ist. Sehr eingehende Untersuchungen über dieselbe Frage stellte H. T. Brown an. Er konnte feststellen, daß zwischen dem normalen Partialdruck der Kohlensäure in der atmosphärischen Luft und einer ca. 6mal größeren Menge die Assimilationstätigkeit proportional der CO_2-Menge wächst.

Ueber den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Assimilation und der Farbe des erregenden Lichtes wurden zuerst von Draper Versuche angestellt und ein deutliches Maximum im Gelbgrün aufgefunden. Später wurden von Engelmann die Versuche nach einer sehr empfindlichen Methode wieder aufgenommen, indem er die Sauerstoffabgabe einzelner farbiger Pflanzenzellen mittels einer Bakterienmethode bei Bestrahlung mit spektral zerlegtem Licht unter dem Mikroskop quantitativ bestimmte. Er fand dabei, daß die Assimilationstätigkeit nicht nur auf die grünen Pflanzenzellen beschränkt ist, daß sie ebenso in braunen, blaugrünen und roten Zellen stattfindet, und daß die Verteilung der Stärke der Assimilation über die einzelnen Spektralgebiete parallel mit der optischen Absorption verläuft. Diese Verteilung ist z. B. bei den grünen Zellen so, daß ein Maximum im Rot zwischen den Fraunhoferschen Linien B und C, ein Minimum im Grün bei E und ein zweites im Maximum im Blau bei F liegt. In dickeren Schichten, wie sie Draper untersuchte, in denen die Lichtabsorption eine vollständige ist, verschiebt sich das Maximum nach den gelbgrünen Strahlen zu.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, den Vorgang der Assimilation künstlich nachzuahmen. Es ist jedoch bis jetzt noch nicht gelungen, aus Kohlendioxyd und Wasser durch Bestrahlung, auch bei Gegenwart von fluoreszierenden Substanzen, welche als Sensibilisatoren dienen sollten, Kohlenhydrate herzustellen.

Bei Bestrahlung mit äußerst kurzwelligem Licht bildet sich aus Kohlensäure und Wasser über die Zwischenprodukte Wasserstoff und Kohlenoxyd Formaldehyd. Derartige Ver-

suche haben aber offenbar nichts mit der natürlichen Assimilation zu tun (vgl. den Artikel „Photosynthese").

5. Spezielle spezifische Lichtreaktionen. Die Vorgänge dieser Klasse von Lichtreaktionen sind in ihrem chemischen Mechanismus noch nicht aufgeklärt.

Hierzu gehören die inneren Oxydationen und Reduktionen bei organischen Photoreaktionen, die Ciamician und Silber sehr eingehend studiert haben. Ein typischer Fall ist die Reaktion von Benzochinon mit Aethylalkohol im Licht, wobei sich Hydrochinon und Acetaldehyd bildet:

$$C_6H_4O_2 + C_2H_5OH = C_6H_4(OH)_2 + CH_3COH.$$

Eine sehr interessante Anwendung findet diese Reaktion bei der Oxydation der mehrwertigen Alkohole Glycerin, Erythrit, d-Mannit, Dulcit zu den entsprechenden Zuckern Glycerose, (d+l)-Erythrose, d-Mannose und Dulcose. Dieselben sind mit den natürlichen Zuckern durchaus identisch.

Ketone, wie Acetophenon und Benzophenon, gehen im Licht mit Alkoholen in die entsprechenden Pinakone über, und zwar verläuft der Vorgang in diesen beiden Fällen sehr glatt:

$$2(C_6H_5)_2CO + C_2H_5OH = (C_6H_5)_2C(OH)—C(OH)(C_6H_5)_2 + CH_3COH$$

Benzophenon, Alkohol, Benzpinakon, Aldehyd

Benzaldehyd geht, allerdings unter teilweiser Verharzung, in die isomeren Hydrobenzoine über:

$$2C_6H_5COH + C_2H_5OH = C_6H_5—CHOH—CHOH—C_6H_5 + CH_3COH.$$

Alloxan wird zu Alloxantin reduziert.

Auch andere wasserstoffabgehende und -aufnehmende Stoffe treten bei intensiver Bestrahlung in Reaktion. So wird Nitrobenzol durch Alkohol über das Phenylhydroxylamin, das sich teilweise in Paraamidophenol verwandelt, zu Anilin reduziert. Bei Verwendung von Benzaldehyd als Reduktionsmittel geht das Nitrobenzol zunächst in Nitrosobenzol über, das durch seine Derivate identifiziert wurde. Der Benzaldehyd oxydiert sich dabei zur Benzoesäure.

Sehr interessant ist das Verhalten von Substanzen, welche gleichzeitig eine oxydierende und eine oxydable Gruppe enthalten. Diese erleiden im Licht eine intramolekulare Oxydation und Reduktion. Als Typus für diese Art von Reaktionen sei nur die Umwandlung des o-Nitrobenzaldehyds in die o-Nitrosobenzoesäure angeführt:

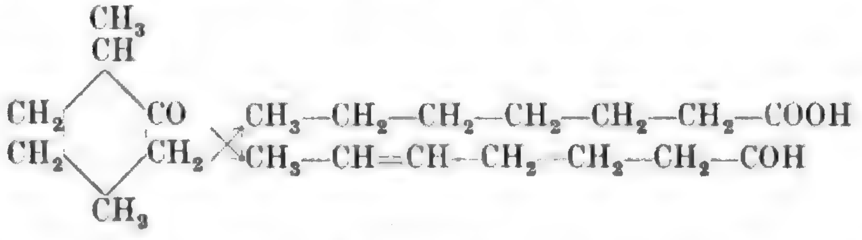
$$C_6H_4\begin{cases}NO_2\\COH\end{cases} = C_6H_4\begin{cases}NO\\COOH\end{cases},$$

die sich im Licht außerordentlich rasch und glatt vollzieht.

Wichtig sind auch die von Ciamician und Silber entdeckten Hydrolysen der Ketone, wobei sich Kohlenwasserstoffe und Säuren bilden. Die Reaktion, deren einfachster Fall die Hydrolyse des wässerigen Acetons zu Methan und Essigsäure ist:

$$CH_3—CO—CH_3 + H_2O = CH_3—COOH + CH_4$$

verläuft ganz spezifisch. Sie ist unter denselben experimentellen Bedingungen im Dunkeln nicht durchzuführen. Bei den cyklischen Ketonen findet keine eigentliche Spaltung, sondern eine Oeffnung des Ringes statt. Es bilden sich eine gesättigte Säure der Fettreihe und ein ungesättigter Aldehyd von einer der Säure entsprechenden Konstitution. So geht das Orthomethyl-cyklohexanon unter dem Einfluß des Lichtes in normale Oenanthylsäure und einen ungesättigten Aldehyd mit sieben Kohlenstoffatomen über:



Auch natürliche Cykloketone, wie z. B. das Menthon, erleiden eine derartige Umwandlung.

Eine gleichfalls spezifische Lichtreaktion ist die Einwirkung wässeriger Blausäure auf Aceton, wobei sich neben anderen Produkten Acetonylharnstoff bildet.

6. Spezielle katalytische Lichtreaktionen. Zu dieser Klasse von Vorgängen gehören die chemischen Prozesse, die auch im Dunkeln stattfinden können, deren Reaktionsgeschwindigkeit aber durch die Bestrahlung vergrößert wird. Es ist zur Erkenntnis dieser Reaktionen nicht nötig, daß die Geschwindigkeit der Dunkelreaktion auch wirklich meßbar ist. Denn es sind eine große Anzahl von instabilen Zuständen bekannt, die besonders bei tiefen Temperaturen praktisch unendlich langsam dem definitiven Gleichgewicht zustreben. Nun werden gerade durch das Licht viele Vorgänge beschleunigt, welche im Dunkeln noch nicht realisiert worden sind. Die durch das Licht gebildeten Katalysatoren

Digitized by Google

scheinen besonders wirksam zu sein, was offenbar mit ihrer dauernden Neubildung zusammenhängt.

Allotrope Umwandlungen. Durch Absorption von ultravioletter Strahlung verwandelt sich Ozon in Sauerstoff. Es ist dies der einfachste Fall einer derartigen Umwandlung eines elementaren Stoffes. Nur diejenigen Wellenlängen sind wirksam, welche vom Ozon absorbiert werden. Die Reaktion ist deshalb von besonderem Interesse, weil die entgegengesetzte Reaktion, die arbeitspeichernde Ozonisierung des Sauerstoffs gleichfalls durch das Licht bewirkt wird. In diesem Fall sind jedoch die von Sauerstoff absorbierten Strahlen wirksam. Im festen Zustande werden die Elemente Arsen und Phosphor durch Licht in die stabilen Modifikationen umgewandelt, und zwar geht der weiße Phosphor in den roten und das gelbe Arsen in das schwarze über. Diamant wird durch andauernde Bestrahlung schwarz. Es ist jedoch noch nicht vollkommen sicher, ob bei gewöhnlicher Temperatur der Diamant oder der Graphit die stabile Modifikation des Kohlenstoffs ist.

Photochemische Chlorierungen und Bromierungen. Diese Vorgänge sollen getrennt von den Hauptgruppen, den photochemischen Synthesen, und den photochemischen Oxydations-Reduktionsprozessen besprochen werden, weil historisch die Lichtempfindlichkeit der Halogene von Interesse ist. Die Vereinigung von Wasserstoff und Chlor

$$H_2 + Cl_2 = 2HCl$$

verläuft ohne Aenderung der Molekülzahl, also auch ohne Aenderung des Volumens. Wenn man aber den Vorgang bei Gegenwart von Wasser beobachtet, so wird die entstehende Salzsäure sehr schnell vom Wasser aufgenommen und es findet eine Kontraktion statt. Da die Vereinigung der Gase durch Belichtung beschleunigt wird, hat man in der Messung der Kontraktion eines durch Wasser abgesperrten Volumens von Chlorknallgas ein bequemes Mittel zur Messung der chemischen Wirkung des Lichtes. Auf dieser Erscheinung beruhen die Aktinometer von Draper, Bunsen und Roscoe. Das Instrument von Bunsen und Roscoe bestand aus einem dosenförmigen Gefäß aus Glas, dessen eine flache kreisrunde Oberfläche von der Seite bestrahlt werden konnte. Der untere Teil war mit Wasser gefüllt und von außen durch einen undurchsichtigen Lack geschwärzt, so daß nur das über dem Wasser befindliche Gasgemisch belichtet wurde. Am oberen Ende des Belichtungsgefäßes war ein enges mit einer Teilung versehenes Kapillarrohr angeschmolzen, das horizontal abgebogen war und einen Wasserfaden enthielt. Jede Veränderung des Volumens des Gases bewirkte daher eine Verschiebung des Wasserfadens. Zur Messung wurde die Veränderung des Meniskus zu verschiedenen Zeiten notiert. Hierbei stellte es sich heraus, daß das Chlorknallgas, welches durch Elektrolyse von konzentrierter Salzsäure gewonnen war, eine mit seiner Zusammensetzung sehr wechselnde Lichtempfindlichkeit zeigte. Man beobachtet sehr häufig bei photochemischen Reaktionen, daß eine nur geringe Veränderung der Konzentration der einzelnen chemischen Bestandteile die Lichtempfindlichkeit sehr stark verändert.

Wenn man den Gasstrom durch den Apparat leitete, war in den ersten Stunden die Lichtempfindlichkeit äußerst gering, sie steigerte sich langsam beim fortgesetzten Durchleiten und erreichte nach 3—6 Tagen in den meisten Fällen ein Maximum, welches bei verschiedenen Versuchen gut reproduzierbar war, wie durch die Prüfung des Aktinometers mit einer konstant brennenden Flamme erwiesen wurde. Bunsen und Roscoe stellten fest, daß es wesentlich war, durch das lange fortgesetzte Durchleiten (es mußten durch das ca. 7 ccm fassende Insolationsgefäß mehr als 6 l Gas geleitet werden) zunächst Sättigung des Sperrwassers mit den Gasen zu erreichen und die Luft möglichst vollständig aus dem Apparat zu entfernen. Die Empfindlichkeit sank bei Gegenwart von nur 0,5% Sauerstoff von 100 auf 9,7, und bei 1,3% auf 2,7. Auch kam es sehr darauf an, daß das Verhältnis von Wasserstoff und Chlor möglichst genau 1 zu 1 war, da z. B. ein Ueberschuß von nur 0,3% Wasserstoff die Empfindlichkeit von 100 auf 37,8 herabdrückt. Die reaktionverzögernde Wirkung des Sauerstoffs wurde später ganz allgemein für Chlorreaktionen festgestellt.

Eine interessante Erscheinung wurde von Bunsen und Roscoe beobachtet, der eine Zeitlang eine allgemeine Bedeutung für photochemische Prozesse zugeschrieben wurde. Die Vereinigung der Gase setzte nicht unmittelbar mit dem Beginn der Belichtung ein, es zeigte sich vielmehr, daß die Reaktionsgeschwindigkeit, gemessen durch die Verschiebung des Wasserfadens in einer bestimmten Zeit, allmählich bis zu einem Maximum anwuchs. Die Zeit, welche bis zur Erreichung dieses Maximums verstrich, wurde die „Induktionsperiode" genannt. Es stellte sich dabei heraus, daß die Zeit, nach der die Verbindungsgeschwindigkeit des Gasgemisches ein Maximum erreicht hatte, sehr stark von den verschiedensten Faktoren abhing. So war die Induktionsperiode abhängig von der Länge der durchstrahlten Gasschicht und wuchs mit ihr, von der wirkenden Lichtstärke und wurde mit wachsender Lichtintensität kleiner, sie war abhängig von der Vorgeschichte des Gasgemisches in dem Isolationsgefäß, und zwar war sie am

Digitized by Google

größten, wenn frisches Gas belichtet wurde, und wurde kürzer gefunden, wenn eine Belichtung bis zum Induktionsmaximum schon vorhergegangen war, so daß der „Verbindungswiderstand" durch die Vorbestrahlung teilweise aufgehoben war. Die Induktionsperiode zeigte sich außerdem abhängig von Zusätzen, und zwar wurde sie verlängert, wenn einem induzierten Gasgemisch frisches Gas zugesetzt wurde. Sauerstoff, der das Induktionsmaximum (die Empfindlichkeit) stark herabsetzt, verkürzt dagegen die Induktionsperiode, und zwar ist eine solche bei Gegenwart von nur 1,3% Sauerstoff überhaupt nicht mehr zu bemerken, und das Gasgemisch reagiert vom Anfang der Bestrahlung an mit konstanter, allerdings sehr geringer Geschwindigkeit.

Es hat nicht an Erklärungsversuchen für diese merkwürdige Erscheinung gefehlt, die jedoch hinfällig wurden, als neuerdings durch Burgess und Chapman festgestellt wurde, daß die Induktion keine charakteristische photochemische Erscheinung ist, sondern nur durch verzögernde Verunreinigungen, welche an den inneren Wänden des Bestrahlungsgefäßes festgehalten werden, verursacht ist. Diese Verunreinigungen, zu denen hauptsächlich Ammoniak und stickstoffhaltige organische Substanzen gehören, werden im Beginn der Belichtung zerstört, so daß die Hemmungen aufhören. Wenn man die Versuche in Quarzgefäßen anstellt, an deren Wänden die Verunreinigungen nicht so stark adsorbiert werden, wie an Glas, verläuft die photochemische Chlorknallgasvereinigung ohne Andeutung einer Induktionsperiode.

Nach dem Absorptionsgesetz sind nur diejenigen Wellenlängen des Spektrums chemisch wirksam, die von dem Chlorknallgas absorbiert werden. Da Wasserstoff praktisch alle Strahlenarten, bis auf das äußerste Ultraviolett durchläßt, kommt nur die Absorption des Chlors in Betracht. Das grüngelb gefärbte Chlor absorbiert das Blau und Violett des sichtbaren Spektralgebietes, und in diesen Strahlen ist auch das Chlorknallgas am empfindlichsten. Man kann dies auf einfache Weise demonstrieren, wenn man dünnwandige Glaskugeln, die mit einem empfindlichen Chlorknallgasgemisch gefüllt sind, verschiedenfarbigem Licht aussetzt. Bei Verwendung von Sonnenlicht oder brennendem Magnesiumpulver explodieren die Kugeln mit großer Heftigkeit, wenn man sie hinter farblosen, blauen und violetten Gläsern belichtet, dagegen bleiben sie intakt hinter genügend rein gefärbtem rotem und gelbem Glas. Diese Versuche verlaufen nur dann normal, wenn das Chlorknallgas ohne vorherige Trocknung in die Glaskugeln geleitet wird. Feuchtigkeit macht die Reaktion lichtempfindlicher und scharf getrocknete Gase vereinigen sich sehr langsam im Licht. Wenn Chlor und Wasserstoff getrennt 9 Monate lang über Phosphorpentoxyd aufbewahrt waren, so vereinigten sie sich nach der Mischung durch einen kleinen elektrischen Funken unter Explosion, beim Erwärmen bis auf 450° bis zu 80%, beim dreitägigen Liegen in heller Sonne dagegen nur zu 30 %.

Chlor reagiert im Licht in sehr vielen Fällen schneller und energischer als im Dunkeln. Man spricht daher von einer „Aktivierung" des Chlors durch die Bestrahlung. Hierzu gehört die Vereinigung von Chlor mit Kohlenoxyd zu Kohlenoxychlorid.

$$CO + Cl_2 = COCl_2$$

Das Reaktionsprodukt wird technisch durch Belichtung gewonnen und hat daher den Namen Phosgen erhalten. Auch bei der messenden Verfolgung dieser photochemischen Reaktion wurde eine Induktionsperiode, eine verzögernde Wirkung des Sauerstoffs und eine beschleunigende der Feuchtigkeit beobachtet. Bei hohen Temperaturen ist das Kohlenoxychlorid unbeständig und zerfällt in seine Bestandteile Kohlenoxyd und Chlor. Auch dieser Zerfall wird durch Belichtung beschleunigt. In den Temperaturgebieten, wo Phosgen schon merklich dissoziiert ist, wird die Vereinigung und die Dissoziation in gleicher Weise durch das Licht beeinflußt eine Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichts durch die Bestrahlung findet demnach nicht statt. Für die katalytischen Lichtreaktionen gilt also dasselbe Kriterium, wie für die gewöhnlichen katalytischen Reaktionen, daß durch die Gegenwart des Katalysators das Gleichgewicht nicht verschoben wird. Die Anwendung des Absorptionsgesetzes auf die Dissoziation des Phosgens im Licht ist nicht so einfach, wie bei der Vereinigung der Bestandteile. Das reagierende Gas absorbiert nämlich gar nicht das sichtbare Licht, welches die Dissoziation beschleunigt, dagegen wird das Blau und Violett teilweise vom Chlor, das bei der Dissoziation entsteht, verschluckt. Es liegt also hier der Fall vor, daß bei einem photochemischen Vorgang das Licht von einer Substanz (Chlor) absorbiert wird, die selbst nicht in Reaktion tritt. Man kann also von einer „Aktivierung" in dem obigen Sinne nicht reden. Offenbar würde ein reines noch vollkommen chlorfreies Phosgen bei hohen Temperaturen im Licht nicht schneller zerfallen, als im Dunkeln. Dieser Versuch ist aber nicht zu realisieren, da die Reaktionsgeschwindigkeiten so groß sind, daß immer schon ein Teil des Gases unter Bildung von Chlor dissoziiert ist. Man nennt diese durch einen zugesetzten lichtabsorbierenden Stoff ermöglichte photochemische Reaktion von Substanzen, die das Licht nicht absorbieren, eine optische Sensibilisation (siehe weiter

Digitized by Google

unten). Man kann sich vorstellen, daß durch die Lichtabsorption des Chlors ein photochemischer Katalysator entsteht, der die eigentliche beobachtete rein chemische Reaktion beschleunigt. Diese Ueberlegungen gelten offenbar auch für andere katalytische Lichtreaktionen und auch bei der photochemischen Phosgen- und Salzsäurebildung ist das Verschwinden des Chlors im Licht nur ein ganz sekundärer rein chemischer Vorgang, so daß in diesen und anderen Fällen gleichfalls nicht von einer Aktivierung einer lichtempfindlichen Substanz durch die Bestrahlung gesprochen werden kann.

Die Vereinigung von Chlor mit Schwefeldioxyd im Licht ist gleichfalls beobachtet worden, ist aber noch nicht sehr eingehend untersucht. Eine schon sehr frühzeitig genau studierte photochemische Chlorreaktion ist die Zersetzung des Chlorwassers. Die einfachste Formel für diesen Vorgang ist

$$2Cl_2 + 2H_2O = 4HCl + O_2$$

Die Menge des entwickelten Sauerstoffs entspricht aber nicht der Menge des verschwindenden Chlors und es wurde festgestellt, daß neben der Bildung der Salzsäure gleichzeitig Sauerstoffsäuren des Chlors $HClO$ und $HClO_3$ entstehen. Falls die Chlorkonzentration nur klein ist (ca. 1 %), ist die Geschwindigkeit der Reaktion proportional der Lichtintensität und der Konzentration des Chlors. Dieser Vorgang wurde von Wittwer als eine der ersten Aktinometerreaktionen verwendet.

Die Tatsache, daß Halogene und besonders Chlor beim Zusammenbringen mit organischen Substanzen im Licht häufig schneller und in manchen Fällen anders reagieren als im Dunkeln, ist wohl bekannt und wird bei organischen Synthesen oft ausgenutzt. Bei Einwirkung von Chlor auf Benzol im Licht entsteht Benzolhexachlorid, während gewöhnliche Katalysatoren in einigen Fällen eine Substitution, und keine Addition bewirken. Aehnliche Reaktionen finden mit Toluol, Xylol und den gasförmigen Kohlenwasserstoffen Methan, Acetylen usw. im Licht statt. Von anderen Substanzen sei nur Eisessig als Beispiel erwähnt. Der Grund für diese Reaktionsbeschleunigung ist derselbe, wie bei den vorher besprochenen Photochlorierungen, daß sich primär aus dem belichteten Chlor ein wirksamer Katalysator bildet. Auch die früher schon beschriebene Hemmung der Reaktion durch Sauerstoff findet sich bei diesen organischen Chlorreaktionen wieder und gibt die z. B. Erklärung für die auffallende Tatsache, daß sich Benzol und Chlor beim Sieden der Lösung auch ohne direkte Bestrahlung vereinigen. Die Reaktion ist auch in diesem Fall eine photochemische, nur ist die Empfindlichkeit durch die durch das Kochen bewirkte Entfernung des Sauerstoffs so groß geworden, daß die gewöhnliche schwache Laboratoriumsbeleuchtung zur Einleitung ausreicht. Brom reagiert ebenso wie Chlor in vielen Fällen im Licht schneller als im Dunkeln, jedoch ist die Beschleunigung durch das Licht in diesem Fall bedeutend geringer als beim Chlor. Die Reaktionen sind weniger lichtempfindlich. Die Vereinigung mit Wasserstoff findet erst bei ca. 200° im Licht mit merklicher Geschwindigkeit statt. Auch bei der Zersetzung des Bromwassers tritt im Licht eine analoge Reaktion ein, wie beim Chlorwasser. Bei Substitutionen und Additionen reagiert das Brom im Licht häufig bedeutend schneller als im Dunkeln. Als Beispiel seien nur die Zersetzung der Oxalsäure

$$C_2O_4H_2 + Br_2 = 2CO_2 + 2HBr$$

und die Addition des Halogens an die Fumar- und Maleinsäure erwähnt.

Die chemische Einwirkung des Jods wird nur bei der Reaktion mit organischen wasserstoffhaltigen Substanzen, wie z. B. mit Alkohol im Licht beschleunigt. Jodwasser bleibt unverändert.

Durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht werden einige anorganische Gasreaktionen beschleunigt. Dieselben sind teilweise den unter den arbeitspeichernden Reaktionen erwähnten entgegengesetzt. Hierzu gehört die Bildung von Schwefeltrioxyd aus Schwefeldioxyd und Sauerstoff, die Synthese des Wassers aus H_2 und O_2 und die Kohlensäurebildung aus CO und O_2. Die erste der genannten Reaktionen verläuft bei Verwendung genügend intensiven ultravioletten Lichtes, wie es von den Quarzquecksilberlampen ausgestrahlt wird, so schnell, daß eine technische Verwendung möglich erscheint. Da im Dunkeln diese Prozesse ebenso verlaufen, wie im Licht, handelt es sich um katalytische Lichtreaktionen.

Dasselbe gilt für einige durch Belichtung verursachte Zersetzungen. Wasserstoffsuperoxyd zerfällt im ultravioletten Licht unter Entwickelung gasförmigen Sauerstoffs. Dieser Vorgang kann durch Zusatz von rotem oder gelbem Blutlaugensalz für sichtbares Licht optisch sensibilisiert werden. Konzentrierte Salpetersäure wird im Licht rot und entwickelt Dämpfe von Stickstoffdioxyd. Die leicht zersetzlichen Verbindungen von Jod und Chlor mit Stickstoff, der Jodstickstoff und Chlorstickstoff zerfallen bei Belichtung unter Explosion. Am besten ist unter den Zersetzungen der Zerfall des gasförmigen Jodwasserstoffs untersucht

$$2HJ = H_2 + J_2$$

Quantitativ ist diese Reaktion von besonderem Interesse, da der Reaktionsverlauf im Licht monomolekular und bei höherer Temperatur im Dunkeln bimolekular ist. Es wurde daraus geschlossen, daß im Licht

Digitized by Google

zunächst der Zerfall eines HJ-Moleküls in Atome stattfindet

$$HJ = H + J$$

und daß erst dann die Vereinigung zu den Jod- und Wasserstoffmolekülen geschieht.

Photochemische Oxydations-Reduktionsreaktionen. Zu dieser Gruppe von katalytischen Lichtreaktionen gehören die meisten der bekannten photochemischen Prozesse. Hier sollen im wesentlichen solche Vorgänge besprochen werden, bei denen ein typisches chemisches Oxydationsmittel und Reduktionsmittel miteinander reagieren. Es hat sich nun ganz allgemein herausgestellt, daß in diesen Fällen das Reduktionsmittel der eigentlich lichtempfindliche Bestandteil des Reaktionsgemenges ist, da es das chemisch wirksame Licht absorbiert. Es ist jedoch nicht damit gesagt, daß sich seine reduzierende Kraft oder sein Reduktionspotential durch die Belichtung vergrößert, was als eine Aktivierung in dem früher gebrauchten Sinne aufzufassen wäre. Der photochemische Reduktions-Oxydationsvorgang kann vielmehr auch durch eine katalytische Reaktionsbeschleunigung hervorgebracht sein. Auf jeden Fall äußert sich die Lichtempfindlichkeit eines Reduktionsmittels nur bei Gegenwart eines Oxydationsmittels. Eine große zusammengehörige Abteilung in dieser Gruppe von Reaktionen umfaßt die Oxydationen durch den Luftsauerstoff. Man spricht daher häufig von einer photochemischen Aktivierung des Sauerstoffs. Hiervon kann jedoch keine Rede sein, da das sichtbare Licht, welches diese Veränderungen bei Farbstoffen und anderen Substanzen hervorbringt, vom Sauerstoff gar nicht absorbiert wird. Rein chemisch hat jedoch der Ausdruck „Aktivierung" eine gewisse Berechtigung, da es häufig beobachtet worden ist, daß organische Substanzen, bei der Bestrahlung in Gegenwart von Sauerstoff diesen in einer superoxydartigen Bindung anlagern, es ist sogar die direkte Bildung von Wasserstoffsuperoxyd nachgewiesen worden. Da durch diese Reaktion der Sauerstoff in einen chemisch aktiveren Zustand als in Gasform übergeht (Jodkalium wird zu Jod oxydiert), findet tatsächlich eine Aktivierung statt. Diese ist jedoch eine ganz sekundäre Erscheinung und durch nichts von den rein chemischen partiellen Aktivierungen des Sauerstoffs bei den bekannten Autoxydationsprozessen verschieden. Wasserstoffsuperoxyd entsteht bei der Belichtung von Oxalsäure, Aether und Amylalkohol mit Luft. Peroxydartige Substanzen bilden sich aus Kohlenwasserstoffen, besonders wenn sie Aethylenbindungen enthalten, aus Terpentinöl und Leinöl, in den an der Luft belichteten Lösungen lichtempfindlicher Farbstoffe, wie z. B. den Farbstoffen der Fluoresceinreihe, in Lösungen von Chininsulfat usw. Alle diese Stoffe scheiden nach genügend langer Belichtung aus angesäuerter Jodkaliumlösung Jod aus. Wie die chemische Reaktion im Licht bei den zuletzt erwähnten komplizierten organischen Substanzen stattfindet, ist noch nicht sicher festgestellt. Bei einigen Farbstoffen findet ein Verschwinden der Farbe oder eine Verschiebung der Nuance statt. Bei anderen dagegen vertieft sich der Farbenton. Diese Erscheinungen sind die bekanntesten photochemischen Reaktionen, da sie das Ausbleichen und Verschießen der Farben verursachen. Es existieren eine große Anzahl von Untersuchungen über die Vorgänge, die jedoch noch zu keinem definitiven Resultat geführt haben. Da jedoch bei der Belichtung von Farbstofflösungen, besonders bei denen aus der Fluoresceinreihe ein Verschwinden von Sauerstoff nachgewiesen ist, sind Oxydationsprozesse bei dem Vorgang beteiligt. Ein einfacher Uebergang des Farbstoffs in die entsprechende Leukobase, also ein Reduktionsprozeß scheint mit Sicherheit nicht vorzuliegen, trotzdem in einigen Fällen z. B. beim Methylenblau beobachtet worden ist, daß die im Licht verschwundene Farbe im Dunkeln wieder erschien. Die Nuance der regenerierten Farbe war jedoch etwas von der ursprünglichen verschieden. Die Leukobasen einiger Triphenylmethanfarbstoffe gehen im Licht unter Aufnahme von Sauerstoff in die entsprechenden Farbstoffe über. Es finden also die verschiedensten chemischen Prozesse nebeneinander bei diesen komplizierten photochemischen Vorgängen in Farbstoffen statt. Erst nach ihrer Aufklärung wird man imstande sein, die Lichtechtheit der Farben in bewußter Weise zu modifizieren. Andere einfachere photochemische Sauerstoffoxydationen kennt man bei den Sulfiden, der schwefligen Säure, dem Cuprochlorid und den Ferrosalzen, die in Sulfate, Cuprichlorid und Ferrisalze übergehen. Besonders die Eisensalze sind vom photochemischen Standpunkt interessant. Auch das Ferriion kann photochemisch in Reaktion treten. In diesem Fall ist die Reaktion jedoch nicht so einfach, da das Ferriion als oxydierendes Ion nicht für sich lichtempfindlich ist. Es tritt erst dann in Reaktion, wenn ein lichtempfindliches Reduktionsmittel zugegen ist. Aus diesem Grunde ist das grüne Ferrioxalat lichtempfindlich und geht bei der Bestrahlung in das rote Ferrooxalat und Kohlensäure über:

$$Fe_2(C_2O_4)_3 + \text{Licht} = 2Fe(C_2O_4) + 2CO_2$$

Das Ferrooxalat verwandelt sich nun durch den Luftsauerstoff auch im Dunkeln bei Gegenwart überschüssiger Oxalsäure in Ferrioxalat:

$$2Fe(C_2O_4) + H_2C_2O_4 + O = Fe_2(C_2O_4)_3 + H_2O$$

das dann wieder die erste Zersetzung erleiden kann. Der beobachtete Gesamtverlauf ist

Digitized by Google

also eine Oxydation der Oxalsäure durch Luftsauerstoff zu Kohlendioxyd und Wasser

$$H_2C_2O_4 + O = H_2O + 2CO_2$$

und das zugesetzte Ferrion wirkt nur als Sauerstoffüberträger. Die an und für sich schon lichtempfindliche Reaktion wird also durch die Gegenwart des Eisenions sehr viel empfindlicher gemacht. Eine ähnliche Wirkung hat das Eisensalz bei der photochemischen Oxydation einer ganzen Anzahl organischer Substanzen, und es kann so eine Reihe sehr interessanter Synthesen im Licht realisiert werden. So gelingt die direkte Oxydation der Benzoesäure zur Salicylsäure.

Eine wichtige photochemische Sauerstoffoxydation findet auch zu Aktinometerzwecken Anwendung. Es ist dies die Zersetzung der wässerigen Jodwasserstoffsäure

$$2HJ + O = J_2 + H_2O$$

welche in angesäuerter Jodkaliumlösung vorgenommen wird. Die quantitative Untersuchung der Reaktion hat gezeigt, daß unter gleichen Bedingungen der Konzentration des Jodids, der Säure und des Sauerstoffs die Geschwindigkeit der Jodabscheidung proportional der Lichtintensität ist. Sie kann also zu Meßzwecken Verwendung finden. Sehr interessant ist bei diesem photochemischen Vorgang, daß die Absorption der blauen und violetten Strahlen nur sehr schwach ist, daß also der Vorgang sehr lichtempfindlich ist. Die Blaufärbung angesäuerter Jodkaliumstärkelösung findet an der Luft auch im Dunkeln mit merklicher Geschwindigkeit statt. Die Dunkelreaktion und der Vorgang im Licht verlaufen also nebeneinander, und sind vollständig voneinander unabhängig. Da der Temperaturkoeffizient, d. h. die Vergrößerung der Reaktionsgeschwindigkeit mit der Temperatur bei rein chemischen Dunkelreaktionen meistens viel größer ist, als bei photochemischen Vorgängen, ist die relative Beschleunigung der Jodwasserstoffoxydation durch das Licht bei steigender Temperatur immer schwächer, die Reaktion wird also immer weniger lichtempfindlich.

Bei denjenigen Oxydations-Reduktionsvorgängen, bei denen ein anderes Oxydationsmittel als der freie Sauerstoff wirkt, ist gleichfalls das Reduktionsmittel der lichtempfindliche Bestandteil. Das best untersuchte Beispiel ist die Oxydation des Chinins durch Chromsäure. Der Vorgang verläuft im Licht und im Dunkeln chemisch auf demselben Wege, ist also eine katalytische Lichtreaktion. Der Reaktionsverlauf wurde durch die Messung der Abnahme des Chromsäuretiters verfolgt. Das Oxydationsprodukt des Chininsulfats konnte noch nicht gefaßt werden. Nur die vom Chinin absorbierten violetten und ultravioletten Strahlen wirken aktinisch. Das von der gelben Chromsäure absorbierte Licht kommt für die photochemische Reaktion nicht in Betracht. Dies ist deshalb sehr interessant, weil eine Reihe bekannter photochemischer Verfahren bekannt ist, in der die Chromsäure und die Chromate eine Rolle spielen. Es sind dies die sogenannten Chromatprozesse, welche speziell unter den photographischen Kopierverfahren von großer Bedeutung sind. Wenn Gelatine, Leim, Gummi, Fischleim und Eiweiß mit Lösungen von Bichromaten behandelt werden, so verlieren sie bei der Belichtung im trockenen Zustand ihre Löslichkeit in Wasser ganz oder teilweise. Diese Eigenschaft wird in der im Artikel „Photographie“ besprochenen Weise photographisch verwertet. Offenbar ist in allen diesen Fällen die organische Substanz das eigentlich lichtempfindliche Reduktionsmittel, die Lichtempfindlichkeit kommt aber erst durch die Gegenwart der oxydierenden Chromsäure zum Ausdruck.

Eine häufig zu Aktinometerzwecken verwendete photochemische Oxydationsreduktionsreaktion ist die von Eder angegebene Reduktion des Quecksilberoxyds zu Calomel mit Hilfe von Ammoniumoxalat.

$$2HgCl_2 + C_2O_4(NH_4)_2 = Hg_2Cl_2 + 2CO_2 + 2NH_4Cl.$$

Eine Lösung von Quecksilberchlorid und Ammoniumoxalat hält sich im Dunklen beliebig lange unverändert, entwickelt aber im Licht Kohlensäure und scheidet Calomel ab. Als Maß der Lichtwirkung kann entweder die in Freiheit gesetzte Kohlensäure oder die gewichtsanalytisch bestimmte ausgefällte Menge Quecksilberchlorür dienen. Letztere Methode gibt genauere Werte. Da sich während der Belichtung die Konzentration der Lösung ändert, wächst die abgeschiedene Menge Calomel langsamer, als der zugeführten Lichtmenge entspricht. Die dafür notwendige Korrektion ist in besonderen Tabellen angegeben. Die spätere Untersuchung dieser oft angewendeten handlichen Aktinometerreaktion durch Winther hat das interessante Resultat ergeben, daß die absolut reine Edersche Lösung überhaupt nicht lichtempfindlich ist, sondern daß die Reaktion im Licht an die Gegenwart minimaler Spuren von Eisensalzen geknüpft ist, die sich meistens in den Handelschemikalien vorfinden. Es findet dabei teilweise eine Sauerstoffübertragung, wie bei den vorher erwähnten Beispielen statt, zum größeren Teil wird aber die durch die angegebenen Formeln ausgedrückte chemische Reaktion bei der photochemischen, die sich unter Mitwirkung der Eisenionen abspielt, einfach mitgenommen. Derartige Beeinflussung eines chemischen Vorgangs durch das sich gleichzeitig abspielende Ablaufen eines anderen findet man öfters auf chemischem und photochemischem Gebiete.

Digitized by Google

Ein weiteres Beispiel für diese Gruppe von Reaktionen ist die im Licht beschleunigte Reduktion der Fehlingschen Lösung, wobei sich Cuprooxyd ausscheidet. Trotz der intensiv blauen Färbung der Lösung ist sie aber nicht für die im Orange absorbierten Strahlen empfindlich, sondern im Ultraviolett. Dies entspricht aber dem Absorptionsgebiet der Weinsäure, also des Reduktionsmittels.

Isomerisationen und Polymerisationen. Derartige durch Licht beschleunigte Prozesse gehören dann zu den katalytischen Lichtreaktionen, wenn sie auch im Dunkeln stattfinden. Beispiele hierfür sind die Umwandlung der Maleinsäure in die Fumarsäure, der Methylcumarinsäure in die Methylcumarsäure, der Allomethoxyzimtsäure in die Methoxyzimtsäure, des Isostilben in das gewöhnliche Stilben, die Polymerisation des Styrols, des Acetylens zu hochmolekularen Produkten u. a. m.

7. Photochemische Nachwirkungen. Einige photochemische Reaktionen zeigen Nachwirkungen, d. h. der chemische Prozeß kommt nicht gleichzeitig mit dem Aufhören der Belichtung zum Stillstand, sondern findet noch eine längere oder kürzere Zeit im Dunkeln statt. Dies ist nur bei den katalytischen Lichtwirkungen möglich. Man kann sich vorstellen, daß der durch die Belichtung in einem chemischen System entstandene Katalysator, seine Wirksamkeit noch eine Zeitlang im Dunkeln beibehält. Es ist wahrscheinlich, daß bei allen katalytischen Lichtreaktionen Nachwirkungen vorkommen. In den meisten Fällen ist die Dauer der Erscheinung jedoch so kurz, daß sie nur schwierig experimentell nachgewiesen werden kann. Länger dauernde Nachwirkungen wurden bei der photochemischen Zersetzung des Jodoforms beobachtet. Daß die Veränderung der belichteten Lösung, welche die Nachwirkung verursacht, materiell ist, geht daraus hervor, daß eine belichtete Lösung von Jodoform zu einer frischen unbelichteten gefügt, auch diese zur Zersetzung anregt. Eine Mischung von Wasserstoffsuperoxyd mit rotem oder gelbem Blutlaugensalz zersetzt sich auch nach der Belichtung noch unter Entwickelung von Sauerstoff. In diesem Fall bildet sich der Katalysator durch die Belichtung der Blutlaugensalze, weil ihre belichtete Lösung nach dem Zusatz zu Wasserstoffsuperoxyd im Dunkeln, dieses zersetzte. Die im Licht begonnene Bromierung des Toluols geht auch im Dunkeln noch weiter. Sehr deutliche Nachwirkungen wurden bei der Oxydation des Benzaldehyds und Kupferchlorürs durch Sauerstoff beobachtet, und ebenso bei der Polymerisation des Styrols.

Eine sehr wichtige Art der photochemischen Nachwirkung wird bei den photographischen Prozessen mit Entwickelung praktisch verwertet. Bei der kurzen Belichtung der photographischen Aufnahmeplatte in der Kamera wird das Halogensilber nicht sichtbar verändert. Es entsteht das sogenannte latente Bild. Ueber die chemischen Veränderungen, welche mit dem Halogensilber bei der Entstehung dieser primären Lichtwirkung vor sich gehen, und über die Substanz des latenten Bildes ist viel gearbeitet worden. Es sind eine Anzahl von Theorien darüber aufgestellt worden, die jedoch noch zu keiner sicheren Lösung dieser für die Photographie wichtigen Frage geführt haben. Es ist aber als festgestellt zu betrachten, daß die Substanz des latenten Bildes katalytische Eigenschaften hat, da eine photographische Platte sich nachher im Dunkeln beim Behandeln mit einem Reduktionsmittel, einem „Entwickler“ nur an den Stellen schwärzt, welche vom Licht getroffen worden waren. Die Reduktion des Halogensilbers zu metallischem Silber wird durch den im Licht entstandenen Katalysator beschleunigt. Die Wirksamkeit desselben ist eine sehr lange andauernde, da sich ja bekanntlich belichtete Platten sehr lange bis zur Entwickelung aufbewahren lassen. Es tritt jedoch allmählich eine Schwächung des latenten Bildes ein, die sich in einer unvollkommenen Entwickelbarkeit nach längerem Aufbewahren andeutet. Man bezeichnet diese Erscheinung als Photoregression.

8. Optische Sensibilisation. Es gibt eine Anzahl von chemischen Prozessen, die an und für sich nicht lichtempfindlich sind, die aber bei Gegenwart eines Stoffes, der selbst nicht wesentlich an der Reaktion beteiligt ist, im Licht beschleunigt werden. Andererseits kann die Empfindlichkeit einer photochemischen Reaktion, die in bestimmten Spektralgebieten besonders stark ist, durch die Gegenwart eines solchen Stoffes nach anderen Farben verschoben werden. Solche Substanzen, welche nach dieser Definition im Licht zu Katalysatoren werden, nennt man optische Sensibilisatoren, und die dadurch für bestimmte Farben lichtempfindlich gemachten chemischen Prozesse optisch sensibilisiert. Einige einfache derartige Sensibilisationen sind schon an anderer Stelle besprochen worden. Hierzu gehört die durch bestrahltes Chlor hervorgerufene photochemische Zersetzung des Phosgens bei höheren Temperaturen. Das Chlor wirkt überhaupt als optischer Sensibilisator bei einer Reihe von Gasreaktionen. Dies gilt für die Wasserbildung aus H_2 und O_2, für die SO_3-Bildung aus SO_2 und O_2 und für die Ozonzersetzung. Alle diese Reaktionen sind selbst lichtempfindlich aber nur für die äußersten ultravioletten Strahlen. Durch Chlor werden sie auch für Blau und Violett sensibilisiert. Eine große Reihe von Sensibilisationen wird durch die Gegenwart der

Digitized by Google

Ionen des Eisens bewirkt. Der nähere Mechanismus der hierdurch bewirkten Sauerstoffübertragung bei der Oxydation organischer Stoffe und bei der Reaktion der Ederschen Lösung wurde schon früher besprochen. Man kann hier von einer photochemischen Uebertragungskatalyse sprechen. Sensibilisatoren für die Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds sind das gelbe und rote Blutlaugensalz. Dies Beispiel wurde schon bei den photochemischen Nachwirkungen erwähnt. Wasserstoffsuperoxyd absorbiert selbst das Licht nur im Ultraviolett und wird daher ohne den Sensibilisator nur durch diese Strahlen zersetzt. Auch Brom wirkt als Sensibilisator bei den Umlagerungen stereoisomerer Substanzen z. B. bei der Umwandlung der Malein- in die Fumarsäure. Besonders kräftig wirkende Sensibilisatoren sind die Uransalze, die auch in anderer Beziehung photochemisch von Wichtigkeit sind, organische fluoreszierende Substanzen, wie Chinin und Akridin, und eine große Anzahl organischer fluoreszierender und nicht fluoreszierender Farbstoffe. Das Chlorophyll wirkt dagegen bei der Pflanzenassimilation nicht als Sensibilisator, da die Reduktion der Kohlensäure kein von selbst verlaufender chemischer Prozeß ist. Durch Chinin und Akridin wird die Oxydation der wässerigen Jodwasserstoffsäure durch Sauerstoff sensibilisiert. Die wichtigste praktische Anwendung der optischen Sensibilisation findet in der Photographie statt. Die gewöhnliche photographische Bromsilber- und Chlorsilberschicht ist nur für die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen lichtempfindlich, die von den Silbersalzen selbst absorbiert werden; die Empfindlichkeit nimmt nach dem roten Teil des Spektrums sehr schnell ab, so daß man ohne Furcht vor einer Verschleierung der Platten das Einlegen in die Kassetten und das Entwickeln bei rotem Licht vornehmen kann. Es ist ein Nachteil dieser ausgesprochenen Blau-Violett-Empfindlichkeit, daß bei der Aufnahme anders farbiger Gegenstände, die Farben nicht in den für das Auge wahrnehmbaren Helligkeitswerten wiedergegeben werden. Ein leuchtendes Rot wird z. B. dunkel und ein dunkles Blau hell. Im Jahre 1873 wurde von Vogel entdeckt, daß Farbstoffe der Eosinreihe die photographische Emulsion für die Strahlen sensibilisieren, welche sie selbst optisch absorbieren. Ein roter Farbstoff macht demnach die photographische Platte für grün empfindlich, ein blauer, wie er z. B. in den Cyaninen vorliegt, für gelb und rot. Es ist dies die Grundlage der orthochromatischen Photographie, welche die Farbwerte in ihren wahren Helligkeitsstufen wiedergeben kann. Sie ist die Vorbedingung für alle photographischen Reproduktionsverfahren in natürlichen Farben.

9. Chemische Sensibilisatoren. Als solche werden alle Stoffe bezeichnet, welche imstande sind, eine photochemische Reaktion in dem Spektralgebiet, für welches sie schon ohne weiteres empfindlich ist, durch chemische Einwirkung zu beschleunigen. Es sind schon unter den bisher besprochenen Beispielen solche Prozesse erwähnt worden. So wirkt z. B. das Oxydationsmittel in den photochemischen Oxydations-Reduktionsprozessen als chemischer Sensibilisator für das lichtempfindliche Reduktionsmittel. Die spezifischen Lichtreaktionen sind teilweise dadurch hervorgerufen, daß das primäre in einer arbeitspeichernden photochemischen Reaktion entstandene Reaktionsprodukt durch chemische Reaktion mit einem „chemischen Sensibilisator" immer wieder verschwindet. Auf diese Weise lassen sich auch die meisten arbeitspeichernden photochemischen Vorgänge beschleunigen, wenn es gelingt, die Produkte der Lichtwirkung möglichst schnell aus dem chemischen System zu entfernen. Bei dem photographischen Bromsilbergelatineverfahren wirkt die Gelatine in diesem Sinne als chemischer Sensibilisator. Das aus dem Bromsilber durch die Lichtwirkung bis zu einer bestimmten stationären Konzentration abgespaltene Brom wird bei Gegenwart von Gelatine chemisch aufgenommen und dadurch wird ein Weiterfortschreiten des photochemischen Prozesses ermöglicht. Diese Art der Beschleunigung arbeitspeichernder photochemischer Prozesse kann nur präparativ von Vorteil sein, wie dies ja auch in dem photographischen Beispiel der Fall ist. Dagegen ist es niemals möglich durch einen chemischen Sensibilisator die Aufspeicherung von Lichtenergie in chemischer Form bei konstanten Strahlungsbedingungen zu vergrößern. Da nämlich der chemische Sensibilisator mit dem primä entstandenen Produkt der Lichtwirkung rein chemisch reagiert, und da bei diesem Prozeß die freie Energie des Systems abnehmen muß, so kann die Gesamtaufspeicherung von Arbeit bei Anwesenheit des Sensibilisators nur kleiner sein als bei Abwesenheit.

10. Physiologische Wirkungen des Lichtes und photodynamische Erscheinungen. Die ultravioletten Strahlen haben sehr kräftige zerstörende Wirkungen auf eine Anzahl biologischer Prozesse. Fermente werden in ihrer Wirkungsweise geschwächt, Bakterien werden abgetötet und normale Lebenserscheinungen werden gehemmt. Die sterilisierende Wirkung der ultravioletten Strahlen ist so stark, daß Wasser sogar technisch durch Vorbeiströmen an intensiven Quarzquecksilberlampen gereinigt werden kann. Auch im lebenden Gewebe werden durch starke Bestrahlung Effekte hervorgebracht, die teilweise zu gefährlichen Entzündungen und

Digitized by Google

Verbrennungen führen können, bei vorsichtiger Anwendung aber schon in vielen Fällen zu Heilzwecken Anwendung gefunden haben. Die Lichttherapie hat sich schon zu einem weitverzweigten Gebiet der praktischen Medizin ausgebildet. Die chemischen und photochemischen Reaktionen, die allen diesen biologischen Erscheinungen zugrunde liegen, sind noch nicht aufgeklärt. Dagegen wurde eine Anzahl von sensibilisierten biologischen Reaktionen aufgefunden, über die chemisch einiges bekannt ist. Es sind dies die von Tappeiner und Jodlbauer zuerst bearbeiteten photodynamischen Prozesse. Das Licht ist nämlich imstande Infusorien zu töten, und auf Protozoen, Bakterien, Enzyme und Toxine zerstörend zu wirken, wenn die Lösungen, in denen der Vorgang stattfindet, gewisse fluoreszierende Substanzen enthalten. Unter den gleichen Bedingungen erleiden rote Blutkörperchen Hämolyse. Da festgestellt wurde, daß bei den photodynamischen Prozessen Sauerstoff unbedingt nötig ist, so beruhen sie offenbar auf einer sauerstoffübertragenden Wirkung der Farbstoffe, die nach einem ähnlichen Mechanismus verläuft, wie bei den einfacheren photochemischen Reaktionen. Immer ist photodynamische Wirkung mit Fluoreszenz verknüpft. Trotzdem scheint die Verbindung der beiden Eigenschaften nicht einfach zu sein, da sie quantitativ nicht parallel gehen. Es gibt sogar ein Gebiet, wo mit wachsender Fluoreszenzhelligkeit die photodynamische Wirkung abnimmt.

11. Lichtelektrische Erscheinungen. Von Becquerel wurde entdeckt, daß zwischen zwei chlorierten oder jodierten Silberplatten eine elektromotorische Kraft wirksam ist, solange die eine Elektrode belichtet wird. Der Strom fließt in der Lösung von der unbelichteten zur belichteten Elektrode. Da die Stromstärke annähernd der Lichtintensität proportional ist, kann eine derartige Kombination als elektrochemisches Aktinometer dienen. Es ist möglich die elektromotorische Kraft durch Zusatz von Farbstoffen zu steigern. Es findet also eine optische Sensibilisation statt. Auch Platinelektroden, die in Farbstofflösungen eintauchen, zeigen bei einseitiger Belichtung eine Potentialdifferenz. Es finden in diesen photoelektrischen Zellen offenbar primär durch die Belichtung photochemische Reaktionen statt, bei denen Reaktionsprodukte entstehen, die elektromotorisch wirksam sind. Bei den Halogensilberelektroden ist diese Wirkung dem im Licht abgespaltenen Halogen zuzuschreiben und bei den Farbstoffzellen den komplizierten photochemischen Prozessen, welche auch bei der Lichtempfindlichkeit der Farbstoffe mitspielen. Weitere Beispiele für die Beziehungen zwischen Licht und elektrischen Erscheinungen und über rein physikalische Erklärungsversuche siehe im Artikel „Lichtelektrische Erscheinungen“.

12. Photochemische Untersuchungsmethoden. Man kann vorläufig noch nicht allgemein von photochemischen Untersuchungs- und Arbeitsmethoden sprechen. Bei den Versuchsanordnungen für photochemische Reaktionen muß natürlich immer darauf Bedacht genommen werden, das Licht unter möglichst günstigen Bedingungen auf das chemische System einwirken zu lassen. Daher muß das Gefäßmaterial besonders berücksichtigt werden. Es muß aus möglichst klarem Glase bestehen, bei Untersuchungen im Ultraviolett müssen Gefäße aus durchsichtigem Quarz oder ultraviolettdurchlässigen Glassorten verwendet werden, oder die Lichtstrahlen müssen möglichst direkt die reagierenden Substanzen treffen. Außerdem ist es wichtig, den Zweck der Untersuchung in Betracht zu ziehen. Falls es nur auf photochemische präparative Arbeiten ankommt, ist es von Vorteil möglichst starke Lichtquellen zu benutzen, und eine möglichst große Oberfläche der reagierenden Substanzen bestrahlen zu lassen. Es ist nicht nötig, auf besonders definierte oder einfache Verhältnisse in der Form der Gefäße und in den Bestrahlungsbedingungen hinzuarbeiten. Bei quantitativen photochemischen Untersuchungen dagegen ist eine sehr konstante Lichtquelle Bedingung. Außerdem müssen die Wände der Reaktionsgefäße einfach, am besten planparallel sein. Die Entfernung von der Lichtquelle muß bekannt sein oder wenn man mit Sonnenlicht arbeitet, das von wechselnder Intensität ist, muß die wirksame Helligkeit durch photometrische oder aktinometrische Vorrichtungen dauernd kontrolliert werden. Die Absorptionsverhältnisse der in der photochemischen Reaktion verschwindenden und entstehenden Substanzen für das Licht sind zu berücksichtigen, und Komplikationen, die durch die Entstehung fester, zerstreuend wirkender Substanzen in Lösungen eintreten können, sind bei quantitativen Untersuchungen so weit als möglich zu vermeiden. Als Lichtquellen kommt außer dem Sonnenlicht und dem diffusen Tageslicht hauptsächlich elektrisches Licht in Betracht. Für die sehr empfindlichen photographischen Reaktionen können auch andere schwache Lichtquellen verwendet werden. Sehr reich an ultravioletten Strahlen sind die zweckmäßig durch große Leidener Flaschen verstärkten Induktionsfunken zwischen Metallelektroden. Als nicht intermittierende Strahlungsquellen sind die Flammenbogen zwischen Kohlen, präparierten Kohlestäben und Eisenelektroden zu empfehlen. Als beste Lichtquelle für photochemische Versuche kommt die Quecksilberbogenlampe in Glas- oder Quarzgefäßen in Betracht. Sie ist auch für quantitative Ver-

Digitized by Google

suche genügend konstant. Um die Empfindlichkeit der Lichtreaktionen gegen verschiedene Strahlenarten zu untersuchen, müssen die Strahlen vor dem Eintritt in die Untersuchungsgefäße Lichtfilterlösungen passieren, die in planparallelen Gefäßen enthalten sind und einen Teil des Spektrums der Strahlungsquelle absorbieren. Bei der Quecksilberlampe ist es besonders einfach, mit praktisch monochromatischem Licht zu arbeiten, da das Spektrum des Hg-Bogens aus einzelnen sehr intensiven weit auseinanderstehenden Linien besteht, die durch geeignete Farbstofflösungen einzeln abzublenden sind. Abgesehen von diesen spezifisch photochemischen Faktoren, die immer zu berücksichtigen sind, geschieht die Untersuchung und Messung bei photochemischen Reaktionen auf analoge Weise wie bei den rein chemischen Vorgängen.

13. **Ergebnisse quantitativer photochemischer Versuche.** Wenn die Durchführung einer photochemischen Reaktion nicht nur zu präparativen Zwecken dient, sondern bezweckt, die Gesetze der chemischen Lichtwirkungen näher kennen zu lernen, sind quantitative Messungen unerläßlich. Es ist natürlich jeder derartige Vorgang, bei dem die Veränderung der Mengenverhältnisse, der Ausgangs- und Endprodukte analytisch zu verfolgen ist, quantitativ zu untersuchen, und es werden in jedem Falle wertvolle Resultate erhalten werden. Da jedoch fast jeder photochemische Prozeß aus mindestens zwei, in den meisten Fällen sogar noch einer größeren Anzahl neben- und nacheinander stattfindender chemischer Reaktionen besteht, ist es wichtig, zunächst den einfachsten photochemischen Reaktionen das Interesse zuzuwenden. Im Gegensatz zu den Verhältnissen in der reinen Chemie, wo man von einer chemischen Kinetik und Statik spricht, kann man in der Photochemie nur von einer photochemischen Kinetik sprechen. Bei den arbeitleistenden photochemischen Prozessen, bei denen überhaupt nur Reaktionsgeschwindigkeiten zur Beobachtung gelangen, ist dies selbstverständlich, jedoch auch die bei den arbeitspeichernden Vorgängen beobachteten photochemischen Gleichgewichte kommen in Wahrheit die stationären Zustände nur durch die Konkurrenz zweier Reaktionsgeschwindigkeiten zustande. Die demnach zu untersuchenden Faktoren sind der Zusammenhang der photochemischen Reaktionsgeschwindigkeiten: a) mit der Konzentration der Reaktionsteilnehmer, b) mit der Lichtintensität, c) der Wellenlänge des erregenden Lichtes, d) der Körpertemperatur des chemischen Systems und e) mit den Versuchsbedingungen.

a) Die Konzentration der Reaktionsteilnehmer beeinflußt die Reaktionsgeschwindigkeit bei photochemischen Reaktionen in verschiedener Weise, je nachdem die photochemisch lichtabsorbierenden, also die eigentlich lichtempfindlichen Bestandteile, oder die nicht lichtempfindlichen betrachtet werden. Die Ordnung einer photochemischen Reaktion in bezug auf einen lichtempfindlichen Bestandteil ist in den meisten Fällen niedriger, als die rein chemisch aus der stöchiometrischen Gleichung berechnete. Der Jodwasserstoff zersetzt sich rein chemisch in der Wärme nach der Gleichung

$$2HJ = H_2 + J_2$$

Der Vorgang verläuft also bimolekular. Die photochemische Zersetzung ist dagegen monomolekular. Die Polymerisation des Anthracens

$$2C_{14}H_{10} = C_{28}H_{20}$$

müßte rein chemisch nach der 2. Ordnung verlaufen, photochemisch wurde die Reaktionsgeschwindigkeit fast unabhängig von der Anthracenkonzentration gefunden, was einem Verlauf nach der 0.ten Ordnung entspricht. Dieses Sinken der scheinbaren Reaktionsordnung ist in mehr oder weniger ausgesprochener Weise bei allen photochemischen Reaktionen zu bemerken und in den allermeisten untersuchten Fällen liegen die Geschwindigkeiten zwischen der 1. und 0.ten Ordnung. Es können jedoch auch höhere Ordnungen vorkommen. Eine Erklärung hierfür bildet die Anschauung, daß die Reaktionsgeschwindigkeit nicht direkt von der Konzentration der lichtempfindlichen Bestandteile, sondern von der Menge des von ihnen absorbierten Lichts abhängt und ihr proportional ist. Bei schwacher Absorption ist die absorbierte Lichtmenge proportional der Konzentration (1. Ordnung), bei starker Absorption ist sie davon unabhängig (0.te Ordnung). Gleichzeitig stattfindende rein chemische Vorgänge können dieses einfache Bild stark verändern. Die Konzentration der nicht lichtempfindlichen Reaktionsteilnehmer beeinflußt die Reaktionsgeschwindigkeit in einigen Fällen in normaler Weise. So verläuft die photochemische Vereinigung von Chlor und Kohlenoxyd monomolekular in bezug auf das CO. In anderen Fällen ist jedoch auch hier die Reaktionsgeschwindigkeit im Licht kleiner als im Dunkeln, wie z. B. bei der optisch durch Chlor sensibilisierten Ozonzersetzung, die unabhängig von der Ozonkonzentration ist. Falls die chemische Reaktion nicht nur im Licht, sondern auch im Dunkeln mit merklicher Geschwindigkeit verläuft, lagern sich beide Vorgänge unabhängig übereinander. Es sind noch zu wenig Fälle untersucht, so daß noch keine allgemeinen Gesetzmäßigkeiten aufgefunden worden sind.

b) Um eine photochemische Reaktion als Aktinometerreaktion verwenden zu können, muß die Beziehung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und wirksamer Lichtintensität genau bekannt sein. Da nach dem Ab-

Digitized by Google

sorptionsgesetz die absorbierte Lichtmenge proportional der auffallenden Lichtintensität ist, wenn die Zusammensetzung des reagierenden Systems konstant bleibt, so kann man die Reaktionsgeschwindigkeit proportional der auffallenden Lichtintensität setzen. Diese Bedingung ist am besten bei der Chlorknallgasvereinigung erfüllt, da die sich bildende Salzsäure sofort von dem Sperrwasser absorbiert wird, der bestrahlte Gasraum also immer dieselbe Zusammensetzung: 50% H_2 und 50% Cl_2 hat. Bei den anderen Aktinometern ist die Beziehung nicht so einfach, da sich im Verlauf der Lichtwirkung die Konzentrationen der Reaktionsteilnehmer in dem belichteten System ändern. Es müssen daher Korrektionen eingeführt werden, welche diese Verhältnisse berücksichtigen.

Für die meisten photochemischen Reaktionen gilt eine Beziehung, das Bunsen-Roscoesche Gesetz, welches besagt, daß die Zeiten, welche bis zur Erzielung eines bestimmten photochemischen Umsatzes nötig sind, sich umgekehrt verhalten wie die Lichtstärken:

$$i.t = \text{Konst.}$$

Von Ostwald wurde das Produkt i.t, Lichtstärke × Zeit, der „photochemische Effekt" genannt. Dies einfache Gesetz ist nicht gültig bei den photographischen Verfahren mit nachfolgender Entwickelung. Schwarzschild hat in diesen Fällen beobachtet, daß von der einstrahlenden Energie um so weniger für den photographischen Prozeß verwendet wird, je langsamer die Energie zuströmt. Die Beziehung erhält dadurch die Form

$$i.t^p = \text{Konst.}$$

p ist ein echter Bruch.

Auch die andere zuerst erwähnte Bedingung für eine Aktinometerreaktion, daß die chemische Wirkung der Lichtwirkung proportional ist, ist bei den photographischen Prozessen sehr schlecht erfüllt. Die Kurve, welche die Abhängigkeit der Menge des im Entwickler abgeschiedenen Silbers (also die Undurchlässigkeit oder Schwärzung der photographischen Schicht) von der Lichtintensität angibt, die sogenannte Schwärzungskurve, ist keineswegs eine gerade Linie, sondern eine sehr komplizierte Funktion, die näher im Artikel „Photographie" besprochen wird. Bei sehr starken Lichtwirkungen, im Gebiete der sogenannten „Solarisation" wird sogar die chemische Wirkung mit zunehmender Belichtung kleiner. Die Photographie ist daher ein allerdings sehr bequemes, aber sehr unsicheres Mittel für aktinometrische Messungen.

Bei arbeitspeichernden photochemischen Reaktionen ist in einem Fall, bei der Untersuchung der Anthracenpolymerisation, eine sehr einfache Beziehung zwischen Lichtmenge und dem chemischen Vorgang aufgefunden worden, wenn man nicht, wie gewöhnlich, die umgesetzten Stoffmengen, sondern die in chemischer Form aufgespeicherte Lichtenergie mit der eingestrahlten Lichtenergie verglich. Es zeigte sich, daß diese beiden Größen unter den verschiedensten Bedingungen der Konzentrationen und der Temperatur einander proportional sind. Wenn man den Zuwachs an freier Energie des Systems mit dE, und die absorbierte Lichtenergie mit dL bezeichnet, ist

$$dE = k.dL$$

Da der primäre photochemische Vorgang bei jeder chemischen Lichtreaktion arbeitspeichernd ist, würde bei Allgemeingültigkeit dieser Beziehung eine sehr einfache quantitative Ergänzung des Grotthuschen Absorptionsgesetzes vorliegen. Der Wert des Proportionalitätsfaktors k ist dann eine charakteristische Größe für jeden lichtempfindlichen Vorgang.

c) Die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Farbe des erregenden Lichtes steht im wesentlichen mit dem Absorptionsspektrum der lichtempfindlichen Substanz im Zusammenhang, da nach dem Grotthusschen Gesetz nur das absorbierte Licht chemisch wirken kann. Aeußerlich sehr auffallende photochemische Beobachtungen erklären sich durch diese Annahme. Es gibt z. B. unter den Fulgiden Verbindungen, welche sich im blauen Licht umwandeln, während die Reaktion im Orangelicht wieder zurückgeht. Das Ausgangsprodukt hat ein Absorptionsgebiet im Blau und das Reaktionsprodukt im Orange. In einem solchen Fall ist dann die chemische Wirkung in weißem Licht geringer, als in reinem blauen. Wenn man die Menge des absorbierten Lichtes mit der chemischen Wirkung vergleicht, ergibt sich in einigen Fällen, wie z. B. bei der Kohlensäureassimilation und beim Ausbleichen einiger Farbstoffe, daß das Verhältnis unabhängig von der Wellenlänge ist, bei der Oxydation des Chinins durch Chromsäure und der Zersetzung des Jodoforms wurde dagegen gefunden, daß die photochemische Wirkung der einzelnen Wellenlängen mit Annäherung an das Absorptionsmaximum abnimmt.

d) Ebenso wie bei den gewöhnlichen chemischen Reaktionen nimmt auch bei den photochemischen die Reaktionsgeschwindigkeit mit wachsender Temperatur zu. Der „Temperaturkoeffizient", welcher gewöhnlich durch das Verhältnis der Geschwindigkeiten bei zwei Temperaturen angegeben wird, die sich um 10° unterscheiden, liegt bei rein chemischen Reaktionen zwischen 2 und 3, bei monomolekularen Reaktionen noch höher, bei photochemischen dagegen zwischen 1 und 1,4. Es besagt dies, daß die Beein-

Digitized by Google

flussung einer photochemischen Reaktion durch die Temperatur nur gering ist. Der Temperaturkoeffizient für eine Reihe von photochemischen Reaktionen ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Oxalsäure + Ferrichlorid (Lemoine)	1,02
Styrol → Metastyrol (Lemoine)	1,34
Edersche Reaktion	1,19
Anthracen → Dianthracen (Luther und Weigert)	1,21
(Neuere Versuche) (Weigert)	1,04
Chlor + Wasserstoff (Bevan)	1,21
Chlor + Wasserstoff (Denison und Roscoe)	1,00
Ozon → Sauerstoff (mit Chlor) (Weigert)	1,21
Bromsilbergelatine	1,03 u. 1,00
Chinin + Chromsäure (Goldberg)	1,04
Jodwasserstoff → Jod (Plotnikow)	1,40
Ausbleichen der Farbstoffe (Schwezow)	1,06—1,08

Es sind jedoch auch einige Abweichungen von dieser Regel bekannt. Z. B. wurde für die Oxydation des Pyrogallols im roten Licht der hohe Temperaturkoeffizient 2,4 gefunden. Die Temperaturabhängigkeit einer photochemischen Reaktion ist ebenso wenig wie die einer rein chemischen allgemein theoretisch vorauszuberechnen. Bei der Photopolymerisation des Anthracens gelingt dies jedoch unter Benutzung der Beziehung $dE = k . dL$ auf thermodynamischem Wege.

Der stationäre Zustand bei arbeitspeichernden photochemischen Prozessen ist stark von der Temperatur abhängig, wenn die Rückverwandelung des im Licht entstandenen Systems im Dunkeln geschieht. Die stationäre Konzentration kommt durch die Konkurrenz zweier Reaktionsgeschwindigkeiten zustande, die eine sehr verschiedene Temperaturabhängigkeit haben. Falls die Rückverwandlung auch photochemisch beschleunigt wird, bleibt die Zusammensetzung des Systems im stationären Zustand im wesentlichen unabhängig von der Temperatur.

e) Die Form der Bestrahlungsgefäße, das Volumen und die Gestalt der chemisch reagierenden Massen, und der Gang der Lichtstrahlen innerhalb des Systems können die gemessene Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussen. Die beobachtete Gesamtwirkung ist die Summe der photochemischen Effekte an den einzelnen Teilen, die durch die jeweils herrschenden Bestrahlungsbedingungen bestimmt sind.

14. Energetische Behandlung von Lichtreaktionen. Der chemische Ausnutzungsfaktor der Lichtenergie, d. h. der Bruchteil der von der lichtempfindlichen Substanzen absorbierten Strahlungsenergie, welche in chemische Energie umgewandelt wird, ist nur bei den arbeitspeichernden Prozessen zu berechnen. Es ist dies der auf Seite 735 erwähnte Faktor k. Man kann zu dieser Berechnung nur den während der photochemischen Reaktion stattfindenden Zuwachs an freier Energie des Systems in Betracht ziehen. Bei der Anthracenpolymerisierung betrug der Ausnutzungfaktor ca. 4,5% der vom Anthracen absorbierten Lichtenergie. Wenn der Zuwachs an freier Energie nicht zu ermitteln ist, kann man zur annähernden Berechnung des Faktors die Wärmetönung des im Licht stattfindenden chemischen Prozesses heranziehen. Bei der Kohlensäureassimilation wurde die Verbrennungswärme der Stärke berücksichtigt und mit diesem Wert ein maximaler Ausnutzungsfaktor von ca. 98% berechnet. Nach anderen Messungen ergaben sich 14—20%. Bei der Zersetzung des Ammoniaks im ultravioletten Licht wurden ca. 2% und bei der Ozonisierung des Sauerstoffs ca. 40% der absorbierten Lichtenergie in chemischer Form aufgespeichert. Bei der Umwandlung des Schwefels betrug der Ausnutzungsfaktor ca. 0,24%. Dies sind die wenigen zahlenmäßigen Angaben über diese wichtige Größe.

Auch bei den arbeitleistenden photochemischen Prozessen kann man die während des Vorganges frei werdende Energie oder die Wärmetönung der Reaktion mit der eingestrahlten und absorbierten Lichtenergie vergleichen. Dieser Wert gibt aber höchstens ein Maß für die Empfindlichkeit der Reaktion, sagt dagegen nichts über die chemische Umwandlung der Strahlungsenergie aus, da diese Vorgänge auch ohne Licht in derselben Richtung stattfinden können.

15. Praktische Verwertung der Lichtenergie. Es wäre für den Kräftehaushalt der Natur von ungeheurer Wichtigkeit, wenn es gelingen würde, die Strahlungsenergie der Sonne in chemische Energie unzuwandeln und so der Menschheit nutzbar zu machen. Die Erde empfängt von der Sonne dauernd etwa 200 Billionen Pferdekräfte. Das ist etwa 2000000 mal so viel, als alle Dampf- und sonstigen Maschinen der Erde zusammen leisten. Nur etwa 3 Millionstel dieser Sonnenenergie wird in den grünen Pflanzen ausgenutzt. Der Rest verläßt unsere Erdkugel wieder, ohne irgendwelche nützliche Arbeit geleistet zu haben. Das Auffinden einer photochemischen Reaktion, welche imstande wäre, ähnlich wie es bei der assimilatorischen Tätigkeit der Pflanze geschieht, einen Teil dieser ungeheuren kostenlos der Erde zuströmenden Energiemenge chemisch aufzuspeichern, würde eine vollständige Umwälzung unserer Technik die bis jetzt noch im wesentlichen auf die auch auf photochemischen Wege entstandenen Steinkohlen angewiesen ist, zur Folge haben. Wesentlich ist es natürlich für einen solchen Vorgang, daß er für das sichtbare Licht emp-

Digitized by Google

findlich ist, denn mit ultravioletten Sonnenstrahlen, die allein bei allen bis jetzt bekannten arbeitspeichernden photochemischen Prozessen wirksam sind, kann man auf dem Grunde unseres Luftmeeres nicht rechnen. Daß dieses Problem tatsächlich gelöst werden kann, ist fraglos, da ja die assimilatorische Tätigkeit der grünen Pflanzen schon eine Lösung dieser Frage bedeutet.

16. Theorie. Es existiert noch keine allgemeine Theorie der photochemischen Prozesse, welche alle einzelnen Fälle zugleich umfaßt und erklärt. Die vielfach diskutierten theoretischen Betrachtungen über die wahre Ursache der beobachteten Erscheinungen beruhen vielmehr in den meisten Fällen auf einer geringen Anzahl von experimentell untersuchten Beispielen. Die primäre Ursache der chemischen Lichtwirkung scheint jedoch in allen Fällen eine durch die Lichtabsorption veranlaßte erhöhte kinetische Energie der reagierenden Moleküle zu sein, welche auf Resonanzerscheinungen mit der Periode der erregenden elektromagnetischen Wellenzüge zurückzuführen ist. Dadurch kommt ein bestrahltes lichtempfindliches System in einen ähnlichen Zustand, wie er sich auch bei höherer Temperatur einstellen würde. Wie nun die eigentlich beobachteten photochemischen Prozesse mit diesem primären elektromagnetischen Resonanzvorgang verknüpft sind, und in welcher Weise hierbei abgeschleuderte Elektronen wirken, ist noch nicht bekannt. Es ist eine Folge der noch ungenügenden Stützen fast aller photochemischen Theorien, daß eine Vorhersage von Erscheinungen noch nicht möglich ist, so daß die experimentelle Bearbeitung irgendeines Beispiels zu den größten Ueberraschungen führen kann. Die Wiedergabe der existierenden Theorien der chemischen Wirkungen des Lichts, deren Diskussion in der photochemischen Fachliteratur noch sehr rege ist, soll daher unterbleiben.

Literatur. **Bunsen und Roscoe**, *Photochemische Untersuchungen. Ostwalds Klassiker Nr. 34 und 38.* — **A. Coehn**, *Photochemische Vorgänge in Gasen. Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik. Bd. 7. 1911.* — **J. M. Eder**, *Photochemie. Halle 1906.* — **Grotthuss**, *Abhandlungen über Elektrizität und Licht. Ostwalds Klassiker Nr. 152.* — **H. Kayser**, *Spektroskopie Bd. IV. Leipzig 1908.* — **R. Luther**, *Die chemischen Vorgänge in der Photographie. Halle 1899.* — **Derselbe**, *Die Aufgaben der Photochemie. Leipzig 1905.* — **W. Nernst**, *Theoretische Chemie. Stuttgart 1910.* — **W. Ostwald**, *Allgemeine Chemie II, 1. Leipzig 1903.* — **J. Plotnikow**, *Photochemie. Leipzig 1910.* — **Derselbe**, *Photochemische Versuchstechnik. Leipzig 1912.* — **K. Schaum**, *Photochemie und Photographie. Leipzig 1908.* — **F. Weigert**, *Die chemischen Wirkungen des Lichtes. Stuttgart 1911.* — *Zusammenfassende Vorträge über Photochemie auf der Jahresversammlung der Bunsengesellschaft. Zeitschrift für Elektrochemie 1908.* — *Außerdem die Einzelabhandlungen von* **Berthelot, Bodenstein, Byk, Chapman, Ciamician und Silber, Coehn, Gaudechon, Gros, Henry, Luther, Plotnikow, Warburg, Weigert, Winther u. a.** *in den folgenden Zeitschriften: Zeitschrift für physikalische Chemie, für wissenschaftliche Photographie, für angewandte Chemie, Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, Abhandlungen der Kgl. Preuß. Akademie der Wissenschaften, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Annalen der Physik, Comptes rendus und Journal of the Chemical Society, London.*

F. Weigert.

Photographie.

1. Allgemeines. 2. Theorie der Photographie: a) Schwärzungsmessungen. b) Beziehungen zwischen Belichtung und Schwärzung. c) Empfindlichkeit von photographischen Schichten. 3. Fähigkeiten der Photographie: a) Wiedergabe von Helligkeitsunterschieden. b) Auflösungsvermögen. c) Wiedergabe von Abständen. d) Wiedergabe von Farben (orthochromatische Photographie). e) Farbenphotographie. 4. Technik der Photographie: a) Latentes Bild. b) Entwickelung des latenten Bildes. c) Fixieren. d) Verstärken und Abschwächen. e) Herstellung von Positiven.

1. Allgemeines. Der Zweck der Photographie besteht in der Registrierung der unter dem Sammelnamen „Licht" bekannten Formen der strahlenden Energie. Falls an einzelnen Stellen eines Objektes die Stärke oder die Farbe der Beleuchtung verschieden sind, so ist durch die Photographie die Möglichkeit gegeben, nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die Verteilung des Lichtes festzustellen. Vom Standpunkte der Klassifikation der Wissenschaften müßte also die Photographie zu den Methoden der objektiven Photometrie gerechnet werden.

Das Wesen der Photographie besteht darin, daß unter dem Einflusse des Lichtes aus farblosen chemischen Verbindungen solche gebildet werden, die mehr oder weniger gefärbt sind (oder umgekehrt), wobei der Grad der erzielten Färbung der Stärke oder der Farbe des einwirkenden Lichtes entspricht.

2. Theorie der Photographie. **2a)** Schwärzungsmessungen. Beim Studium jedes physikalischen oder chemischen Vorganges muß als wichtigste Frage das Gesetz der Erscheinung, also der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung, bestimmt werden. Bei einem photographischen Vorgang würde es sich dabei darum handeln, die Beziehung zwischen der Lichtstärke, Farbe und Belichtungszeit einerseits und der erzielten Veränderung der Färbung

Digitized by Google

einer photographischen Schicht andererseits festzustellen. Für die Bestimmung der ersten beiden Faktoren sind bekannte Meßmethoden vorhanden; zur Messung der Färbung der photographischen Schicht werden dagegen spezielle Apparate benutzt.

Da fast alle praktisch angewandten photographischen Negative grau in der Durchsicht sind, so wird in den meisten Fällen statt „Färbung" die Bezeichnung „Schwärzung" (oder seltener „Dichte") gebraucht. Darunter wird der dekadische Logarithmus des Verhältnisses zwischen der Intensität des in die Schicht eindringenden (I_e) und der Intensität des durchgelassenen Lichtes (I_d) verstanden $\left(S = \log \frac{I_e}{I_d}\right)$.

Bei allen Schwärzungsmessungen muß darauf geachtet werden, daß die Schicht der photographischen Platte oft durch die Reaktionsprodukte der Entwickler oder Verstärker gefärbt ist, und die ermittelte Dichte dann nur für die angewandte spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle gültig ist. Als „Kopierschwärzung" wird in diesem Falle die praktische Dichte des Negativs beim Kopieren auf ein empfindliches Papier bezeichnet.

Da fast sämtliche in der Photographie gebräuchliche absorbierende Schichten aus feinem, in einem Bindemittel suspendierten Korn bestehen, so wird das auffallende Licht zum großen Teil nicht absorbiert, sondern nur nach den Seiten zerstreut und gelangt deshalb nur zum Teil in das Photometer. Je nach dem Oeffnungsverhältnis des Instrumentes wird ein größerer oder kleinerer Teil dieses diffusen Lichtes mitregistriert, so daß die festgestellte Größe der Schwärzung von der Konstruktion des Photometers abhängt. Nur in dem Falle, wenn die zu messende Schicht mit vollkommen diffusem Lichte beleuchtet ist, kann der wirkliche Wert der Schwärzung ermittelt werden. Solche diffuse Beleuchtung kann auf einfache Weise durch Einschalten eines Milchglases im Kontakt mit der zu messenden Schicht erzielt werden. Eine einfache Ueberlegung zeigt, daß die im diffusen Lichte festgestellte Schwärzung auch ein Maß für die „Kopierschwärzung" ist, die die Schwächung des Lichtes durch das Negativ beim Kopieren darstellt. Obwohl diese Tatsache schon seit vielen Jahren bekannt ist, wurde sie gar nicht beachtet. Alle Zahlenangaben von Dichten, die in sämtlichen bis zum Jahre 1909 gemachten Untersuchungen enthalten sind, muß man deshalb als ungültig bezeichnen. Erst neuerdings hat Callier die Frage genau untersucht und dabei festgestellt, daß in direktem Lichte gemessene Schwärzungen rund um 50% größer, als die im diffusen Lichte festgestellten sind. Der Unterschied hängt von der Korngröße und dem Wert der Schwärzung ab und kann nicht in eine einfache Formel gekleidet werden Auf diese Tatsachen muß bei allen Untersuchungen genau geachtet werden.

Die Bestimmung der Schwärzung von photographischen Papieren stößt auf sehr große Schwierigkeiten, die noch nicht ganz überwunden sind. Da es sich hier eigentlich um Messung der Albedo einer sehr kleinen Fläche handelt, so muß, wie auch bei durchsichtigen Schichten, für eine vollkommen diffuse Beleuchtung der Meßfläche gesorgt werden. Eine obere Grenze der Schwärzung ist hier durch das Oberflächenlicht des gefärbten Pigmentes (also das Licht, das von der Grenze: Luft-photographische Schicht reflektiert wird) gesetzt. Aus diesem Grunde übersteigen die Schwärzungen der Papiere selten die Dichte 1,2. Hier wird als Schwärzung der dekadische Logarithmus des Verhältnisses der Albedo der gefärbten Fläche zu der Albedo des reinen Papiers (also der unbelichteten photographischen Schicht) angenommen.

2b) Beziehungen zwischen Belichtung und Schwärzung Für alle photochemischen Reaktionen gilt in erster Annäherung das Reziprozitätsgesetz von Bunsen und Roscoe, wonach der photochemische Effekt der Belichtungszeit und der Lichtstärke proportional ist. Dieses Gesetz ist insofern von großer Wichtigkeit, als es die annähernde Bestimmung der zur Erzielung einer bestimmten Schwärzung notwendigen Belichtungszeit gestattet. Bei genaueren Untersuchungen hat es sich jedoch herausgestellt, daß die Beziehungen zwischen der Belichtung (Lichtmenge) und Schwärzung ganz bedeutend komplizierter sind. Trägt man in einem Diagramm die Logarithmen der einzelnen Belichtungen (darunter soll das Produkt aus der Lichtstärke i und der Belichtungszeit t verstanden werden) als Abszisse und die dabei erhaltenen Schwärzungen als Ordinaten ein, so erhält man die sogenannte „charakteristische Kurve", die eine große Wichtigkeit für das Studium der photographischen Vorgänge besitzt. Diese Kurve hat in ihrer allgemeinsten Form eine S-förmige Gestalt (Fig. 1). Verschiedene Autoren legen dem Kurvenbeginn, also dem Werte der Belichtung, der die erste vom unbewaffneten Auge feststellbare Spur der Schwärzung erzeugt, eine besondere theoretische Bedeutung zu und bezeichnen ihn als Schwellenwert der photographischen Schicht (vgl. weiter unten). Es ist jedoch leicht zu ersehen, daß das menschliche Auge, auch wenn es mit einem photometrischen Apparat bewaffnet ist, nur dann eine Schwärzung bemerken kann, wenn sie den Wert

Digitized by Google

der Unterschiedsschwelle des Auges überschritten hat (im günstigsten Falle ist es eine Schwärzung von etwa 0,005).

Das Gebiet der Belichtungen bis zur

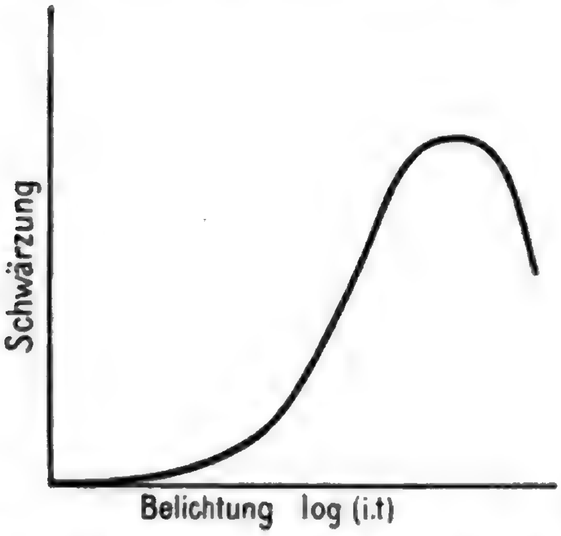


Fig. 1. Charakteristische Kurve einer photographischen Trockenplatte.

Erreichung des Schwellenwertes wird als Induktionsperiode bezeichnet. Fast immer kann man jedoch mit dem Mikroskop oder durch Verstärken weit unterhalb des Schwellenwertes Spuren der photochemischen Wirkung feststellen. Nach der Erreichung des sogenannten Schwellenwertes nimmt die Schwärzung erst langsam und dann immer schneller zu. Dieses Stück der Kurve wird (wenn auch ohne Berechtigung) als Periode der Unterexposition bezeichnet. Diesem Gebiete folgt dann ein geradliniges Stück der Kurve, wo also die Zunahme der Schwärzung der Zunahme des Logarithmus der Belichtung proportional ist. Da die Schwärzung einem Maximum zustrebt, während die Belichtung unendlich groß werden kann, so sinkt die Neigung der Kurve allmählich, um schließlich der Abszisse parallel zu werden.

Von dieser normalen Form weicht die Kurve bei den einzelnen photographischen Prozessen manchmal stark ab. Oft verschwindet das mittlere gerade Stück der Kurve, manchmal steigt die Kurve dagegen unmittelbar vom Schwellenwerte in gerader Form in die Höhe. Eine ganz besondere Abweichung erleidet die Form bei allen mit Entwickelung verbundenen photographischen Verfahren, bei denen die Halogensalze des Silbers als lichtempfindlicher Stoff funktionieren. Nach Erreichung des größten Schwärzungswertes bleibt hier die Kurve nicht parallel der Abszisse, sondern sinkt ziemlich schnell, so daß bei steigender Belichtung sinkende Werte der Schwärzung registriert werden. Ohne bis zur Abszisse herabzusinken, nähert sich dann die Kurve einem Schwärzungsminimum, um bei weiterer Belichtung wieder in die Höhe zu steigen. Ueber den weiteren Verlauf der Kurve sind keine sicheren Angaben vorhanden. Verschiedene Autoren haben noch weitere Maxima und Minima festgestellt, was jedoch von anderen Forschern nicht bestätigt werden konnte. Das ganze Stück der charakteristischen Kurve vom ersten Maximum an wird als Gebiet der Solarisation bezeichnet.

Der Verlauf des mittleren geraden Stückes der Kurve kann durch die Formel

$$S = A + K.\log i.t \qquad (1)$$

ausgedrückt werden, solange das Gesetz von Bunsen und Roscoe ($i.t = \text{const.}$) als gültig angenommen werden darf. Genaue Untersuchungen liegen hier nur für die Bromsilbergelatine vor. Es hat sich dabei ergeben, daß das Gesetz nicht gültig ist und daß dementsprechend die obige Formel durch zwei mit verschiedenen Konstanten zu ersetzen ist. Sie würden in diesem Falle lauten:

$$S = A + n.\log i \qquad (2)$$

und

$$S = A + m.\log t \qquad (3)$$

wobei in der ersten Formel konstante Belichtungszeit, in der zweiten konstante Lichtstärke angenommen wird. In Kurvenform übertragen bedeuten die beiden Formeln, daß die charakteristische Kurve der Bromsilbergelatine in ihrem geraden Teile eine verschiedene Neigung hat, je nachdem die Lichtstärke oder die Zeit variabel angenommen wird. Man muß also in diesem Falle zwei verschiedene Kurven voneinander unterscheiden. Aus den Formeln (2) und (3) folgt, daß

$$S = B + \log (i^m.t^n) \qquad (4)$$

oder

$$S = B + \log (i.t^p) \qquad (5)$$

wo $p = {}^n/_m$ ist. Für eine gegebene Schwärzung S folgt daraus, daß

$$i.t^p = \text{const.} \qquad (6)$$

Der letztere Ausdruck stellt das abgeänderte Bunsen-Roscoesche Gesetz für Bromsilbergelatine dar. Dieser Ausdruck wird als Schwarzschildsches Gesetz bezeichnet; der Wert von p ist für verschiedene Sorten von Bromsilbergelatineplatten variabel und schwankt etwa zwischen 0,8 und 0,95.

In Worten ausgedrückt, besagt die Schwarzschildsche Formel (unter Berücksichtigung, daß p immer ein echter Bruch ist), daß die strahlende Energie einen um so geringeren Effekt auf die Bromsilbergelatine ausübt, je langsamer der Zufluß der Energie erfolgt.

Bei genauen Untersuchungen darf aber nicht außer acht gelassen werden, daß wie oben auseinandergesetzt, die Beziehung zwischen Belichtung und Schwärzung nur durch

Digitized by Google

ein dreidimensionales Gebilde ausgedrückt werden kann und daß demgemäß die Schwarzschildsche Formel nur in erster Annäherung und nur für das mittlere gerade Stück der charakteristischen Kurve als richtig gelten kann.

2c) Empfindlichkeit von photographischen Schichten. Die Bestimmung der zur Herstellung einer photographischen Aufnahme notwendigen Belichtungszeit ist nur dann möglich, wenn die Empfindlichkeit der Platte oder des Kopiermaterials bekannt ist. In der praktischen Photographie wird diese Kenntnis fast immer durch eine oder mehrere Probeaufnahmen erzielt. Seit Jahrzehnten wird versucht, eine Methode zur eindeutigen Bestimmung der Lichtempfindlichkeit einer photographischen Schicht auszuarbeiten, bisher allerdings ohne Erfolg. Es handelt sich hierbei darum, eine zahlenmäßige Konstante zu finden, die ein Maß für die Lichtempfindlichkeit darstellen soll. Es ist aber leicht zu zeigen, daß solch eine Konstante überhaupt nicht existiert. Je nach den Anforderungen, die an eine photographische Aufnahme gestellt werden, wird eine und dieselbe Platte als mehr oder weniger empfindlich bezeichnet werden müssen. In der Sternphotographie kommt es z. B. darauf an, in möglichst kurzer Zeit das Vorhandensein eines Lichtpunktes auf einem dunklen Grunde (Himmel) nachzuweisen. Demgemäß wird man hier als Empfindlichkeit diejenige Lichtmenge bezeichnen, die einen vom unbewaffneten Auge unterscheidbaren Niederschlag auf der Platte erzeugt (Methode von Scheiner). Dort, wo eine gleichmäßige Wiedergabe von Helligkeitsunterschieden erwünscht ist, wird man danach trachten, daß alle auf der Platte enthaltenen Schwärzungen im geraden Stück der charakteristischen Kurve liegen und nur dieses Stück zur Beurteilung der Empfindlichkeit in Betracht ziehen. Dann eignet sich die in der Formel (1) enthaltene Konstante A sehr gut als Maß für die Empfindlichkeit, da sie, wie weiter unten gezeigt werden wird, nahezu unabhängig von der Entwickelungszeit ist (Methode von Hurter und Driffield). Falls schließlich die Empfindlichkeit als diejenige Lichtmenge, die genügt, um noch kopierbare Schattendetails hervorzurufen, bezeichnet wird (Miethe), so wird diejenige Stelle der charakteristischen Kurve festzustellen sein, wo sie eine bestimmte Neigung zur Abszissenachse erhält (Methode von Goldberg).

Die nach all diesen Methoden erhaltenen Empfindlichkeitszahlen gelten eigentlich nur für monochromatisches Licht. Da aber die gewöhnlichen photographischen Platten nur für einen verhältnismäßig engen Spektralbezirk empfindlich sind, so ist der durch den Gebrauch des weißen Lichtes bei der Aufnahme bedingte Fehler nicht sehr groß.

Bei der Beurteilung der farbenempfindlichen Platten in bezug auf ihre Lichtempfindlichkeit sind alle oben beschriebenen Methoden nur bedingt anwendbar und müssen durch die Angabe des Verhältnisses zwischen den Empfindlichkeiten für die einzelnen Farben ergänzt werden (Methode von Eder). Noch besser ist es, in diesem Falle auf Grund einer Untersuchung im Spektrographen die Abhängigkeit der Schwärzung von der Wellenlänge festzustellen. Doch treten hierbei mannigfache Schwierigkeiten ein, so daß auch diese exaktere Methode nur zur Ermittelung von relativen Werten zu verwenden ist. Zudem ist auch die Grundbedingung für die theoretische Richtigkeit dieser Methode nicht sicher.

Es ist nämlich trotz vieler eingehender Untersuchungen die Frage noch nicht gelöst, ob die charakteristische Kurve für alle Wellenlängen die gleiche Gestalt hat oder nicht. Ist dies aber nicht der Fall, so ist die Empfindlichkeit einer orthochromatischen Platte nur durch ein vierdimensionales Gebilde darzustellen.

Bei all diesen Erörterungen wurde die Verschiedenheit der Koeffizienten n und m in den Formeln (2) und (3) außer acht gelassen, da die dadurch bedingten Fehler klein sind im Verhältnis zu den Unsicherheiten aller beschriebenen Methoden. Bei der Herstellung der photographischen Aufnahmen wird nur die Lichtstärke variiert, da die Belichtungszeit für alle Teile des Bildes konstant ist. Selbstverständlich müßte auch bei der Prüfung der Platten auf ihre Empfindlichkeit ebenso verfahren werden. Da jedoch die Abstufung der Zeiten versuchstechnisch leichter auszuführen ist als die der Lichtstärken, so wird die erstere fast immer vorgezogen.

Bei der praktischen Ausführung der Prüfung wird dicht hinter einem mit sektorenförmigen Ausschnitten versehenen Rade eine lichtempfindliche Platte angebracht und eine bestimmte Zeitlang dem Lichte einer Normallichtquelle exponiert, während das Rad in mäßig schnelle Bewegung gesetzt wird. Auf diese Weise entsteht auf der Platte eine Reihe von konzentrischen Feldern, deren Belichtungszeiten sich so verhalten, wie die Winkel der einzelnen Sektoren. Hierbei wird stillschweigend vorausgesetzt, daß die intermittierende Belichtung denselben photochemischen Effekt hervorruft, wie die Summe der einzelnen Belichtungen; diese Annahme ist aber auch nur annähernd richtig.

Sehr große Schwierigkeiten verursacht die Wahl einer Normallichtquelle. In Deutsch-

Digitized by Google

land wird die Benzinkerze von Scheiner gebraucht, die etwa $^1/_{13}$ der Hefnerkerze entspricht. In England zieht man dagegen die Acetylenbeleuchtung für alle sensitometrischen Versuche vor, wobei nach dem Vorgange von Mees und Sheppard ein bläuliches Filter zwischengeschaltet wird, um eine größere Aehnlichkeit mit dem Tageslichte zu erzielen, und auf diese Weise den oben erwähnten Fehler zu verringern.

Im „Sensitometer" von Scheiner befindet sich vor der empfindlichen Platte ein rotierendes Rad mit sektorförmigen Ausschnitten. Die einzelnen Ausschnitte verhalten sich wie 1 zu 1,27, so daß der größte Ausschnitt 100 mal (im größeren Modell 200 mal) mehr Licht empfängt als der kleinste. Dicht vor der Platte wird ein Blech mit ausgestanzten Zahlen, die der Nummer des Ausschnittes entsprechen, eingeschaltet, so daß nach dem Belichten und Entwickeln eine Reihe von Zahlen auf der Platte sichtbar wird, die bei empfindlichen Platten länger ist als bei unempfindlicheren. Die letzte noch sichtbare Zahl wird als Maß für die Empfindlichkeit bezeichnet. In Deutschland wird ausschließlich die Methode von Scheiner verwendet (außer der Methode von Warnerke, die aber theoretisch und praktisch vollkommen unzuverlässig ist) Die nachfolgenden Angaben sollen einen Anhalt bei der Beurteilung von Platten geben:

	Scheinergrade
Momentplatten	18
Normalplatten	15
Photomechanische Platten	5
Diapositivplatten	1

3. Fähigkeiten der Photographie. Die Wiedergabe eines Objektes durch die Photographie ist nur dann naturgetreu, wenn die Größe jedes einzelnen Teiles dieses Objektes, die Abstände der Teile voneinander, deren Helligkeit und Farbe in der photographischen Nachbildung der Wirklichkeit entsprechen. Es soll hier vorausgesetzt werden, daß durch ein ideales optisches System eine in allen Teilen völlig naturgetreue Abbildung gewährleistet wird, und es soll nur untersucht werden, inwiefern die Eigenschaften der heutigen photographischen Platten dieses ideale Abbild verschlechtern können.

3a) Wiedergabe von Helligkeitsunterschieden. Das Auge empfindet nur dann einen Unterschied zwischen zwei Helligkeiten, wenn deren Werte voneinander um mindestens 1% sich unterscheiden. Demgemäß wird auch in der photographischen Nachbildung ein Helligkeitsdetail für unser Auge nur vorhanden sein, wenn an der entsprechenden Stelle der Platte die Schwärzung um log 0,01 = 0,0043 größer oder kleiner als in der nächsten Umgebung ist. Je nach der Steilheit der charakteristischen Kurve wird ein Schwärzungsintervall von 0,0043 einem größeren oder kleineren Helligkeitsintervall entsprechen. Im ersten Falle werden in der Natur vorhandene Helligkeitsdetails von der Platte unterdrückt, im letzteren Falle dagegen werden auch solche Details in der Photographie sichtbar, die vom Auge an dem Naturobjekte gar nicht entdeckt werden können. Nur falls die charakteristische Kurve eine Neigung von 45° gegen die Koordinaten aufweist, wird die Photographie die Helligkeitsverhältnisse naturgetreu (d. h. so wie wir sie in der Natur sehen) wiedergeben.

Daraus folgt, daß überall, wo möglichst feine Helligkeitsunterschiede erkannt werden sollen, die Herstellung von harten Negativen (also solchen, deren Schwärzungskurve im mittleren Stück sehr steil verläuft) angestrebt werden muß.

3b) Wiedergabe von sehr kleinen Objekten (Auflösungsvermögen der Platte). In vielen Zweigen der wissenschaftlichen Photographie müssen sehr kleine Objekte abgebildet werden. Ebenso wie bei jedem optischen Instrument kommt hierbei das sogenannte Auflösungsvermögen in Frage. Es muß jedoch der Einfluß des optischen Systems auf die Güte des entstehenden Bildes von Vorgängen in der Schicht streng getrennt werden. Da diese Trennung in den bisherigen Untersuchungen über diese wichtige Frage nicht genügend durchgeführt worden ist, so sind unsere Kenntnisse recht mangelhaft und unsicher.

Zuerst ist die Frage zu beantworten, wie groß die Abbildung eines durch ein ideales Objektiv von unendlich großer Oeffnung auf die photographische Platte projizierten Sternes ist. Da die scheinbare Lichtfläche in diesem Falle unendlich klein ist, so müßte auch die Abbildung unendlich klein sein. In der Tat ist aber die Dimension der Abbildung von der Art der Platte und der Expositionszeit abhängig. Sämtliche für allgemeine Aufnahmezwecke in Betracht kommenden Platten bestehen aus einer Suspension von Halogensilberkörnchen in einem Bindemittel. Das vom Objektiv beleuchtete Körnchen wirkt wie eine sekundäre Lichtquelle und zerstreut das Licht nach allen Richtungen, so daß auch die benachbarten Körner etwas Licht erhalten. Bei geringer Stärke der primären Lichtquelle oder bei kurzer Exposition kann der Fall eintreten, daß die zerstreute Lichtmenge nicht genügend groß ist, um die benachbarten Körner entwickelbar zu machen. Dann müßte die Größe der Abbildung nach dem Entwickeln der Korngröße entsprechen. In diesem Sinne hat Wadsworth das Auf-

Digitized by Google

lösungsvermögen der photographischen Platten als allein von der Korngröße abhängig definiert. Versuche zeigen jedoch, daß es nicht möglich ist, eine Abbildung in dieser Kleinheit zu erhalten. In den obigen Ausführungen ist nämlich nicht berücksichtigt, daß die Körner einer Halogensilberschicht sehr verschiedene Lichtempfindlichkeit besitzen; aus diesem Grunde ist es fast immer zu erwarten, daß das primär beleuchtete Körnchen eine größere Lichtmenge zur Zersetzung braucht, als die zufällig lichtempfindlicheren benachbarten Teilchen. Die Abbildung wird also auch bei kürzester Expositionszeit nicht unter eine bestimmte Ausdehnung sinken Dieses Minimum ist das eigentliche Auflösungsvermögen der Platte (Auflösungsgrenze).

Bei längerer Belichtung tritt eine weitere Ausdehnung des Lichteindruckes ein, die ebenfalls von der Plattensorte abhängig ist. Die Lichtstreuung nach den Seiten des primär beleuchteten Körnchens äußert sich in einer Verbreiterung des entwickelbaren Eindruckes, so daß statt eines Punktes ein mit der Expositionszeit wachsendes Scheibchen sich ausbildet. Die Zunahme des Halbmessers dieses Scheibchens bei einer zehnfachen Vergrößerung der Belichtungszeit soll als Trübungsfaktor der Platte bezeichnet werden. Sie ist identisch mit dem reziproken Wert der Schichtdicke, die das zerstreute Licht auf ein Zehntel der ursprünglichen Stärke reduziert.

Außer der Diffusion des Lichtes in der Haloidsilberschicht trägt noch eine andere unter dem Namen „Lichthof“ bekannte Erscheinung zur Verbreiterung der Abbildungen bei. Der Lichthof wird durch Reflexion des durch die trübe Haloidsilberschicht durchgegangenen Lichtes von der hinteren Fläche des Glases hervorgerufen und äußert sich bei Abbildung eines Punktes in einem dunklen Ring, bei Abbildung von Linien in Form von zwei parallelen Linien. Drecker hat auf Grund bekannter Grundlagen (vgl. den Artikel „Lichtreflexion“) die Stärke des reflektierten Lichtes in allen Richtungen berechnet. Zur Vermeidung des Lichthofes kann man jedes Verfahren anwenden, das geeignet ist, die Ursache (Reflexion des Lichtes von der Glasunterlage) zu bekämpfen. Praktisch werden die folgenden Möglichkeiten angewandt: 1. Hinterkleiden der Glasunterlage mit einer stark gefärbten Schicht, 2. Einschalten einer gefärbten Schicht zwischen der Gelatineschicht und der Glasunterlage, 3. Anwendung von mehreren Bromsilberschichten verschiedener Empfindlichkeit.

Das erste Verfahren wird wohl am meisten angewandt, erfüllt aber den Zweck nur dann, wenn die gefärbte Schicht im wirklichen optischen Kontakte mit dem Glase ist und einen dem Glase annähernd gleichen Brechungsexponenten besitzt.

Die zweite Möglichkeit liefert ausgezeichnete Resultate. Es muß hierbei ein Farbstoff gewählt werden, der beim Fixieren oder auf eine andere einfache Weise (z. B. durch Auswaschen) leicht entfernt werden kann, da sonst das Kopieren des Negativs nicht möglich wäre.

Die dritte Möglichkeit zur Vermeidung des Lichthofes leidet an dem Uebelstande, daß infolge der sehr dicken Schicht die Diffusion des Lichtes innerhalb der Schicht verstärkt und das Auflösungsvermögen verschlechtert wird.

Lichthoffreie Platten müssen in allen Fällen verwendet werden, wo starke Gegensätze in der Lichtstärke vorhanden sind, da der Lichthof nicht nur bei Punkten oder Linien, sondern auch besonders bei großen Flächen auftritt und dann einen Schleier erzeugt, der sämtliche Einzelheiten in und neben den hell beleuchteten Stellen vernichtet.

Ganz besondere Verhältnisse herrschen bei praktischen Aufnahmen mit gewöhnlichen (also nicht ideal korrigierten) Objektiven von endlicher Oeffnung. Hier ist die Abbildung eines Sternes keineswegs unendlich klein und hat die Form eines hellen Scheibchens mit sehr unscharfen Rändern. Das menschliche Auge sieht, infolge der Kontrastwirkung und der Unfähigkeit, schwaches Licht neben einem stark beleuchteten Zentralscheibchen wahrzunehmen, diesen Rand nicht. Bei der photographischen Aufnahme äußert er sich aber in einer ziemlich starken Verbreiterung der Abbildung bei steigender Expositionszeit. Es entsteht also auf der Aufnahme ein zentrales, stark geschwärztes Scheibchen mit sanft abfallenden Rändern, dessen Größe je nach der auf die Platte gelangten Lichtmenge verschieden ist (bis zu einem Millimeter und darüber). Die Zunahme des Durchmessers hängt also von der Qualität des Objektivs ab. Die Verteilung der Schwärzung am Rande eines Scheibchens ist außerdem durch die charakteristische Kurve der benutzten Platte mitbestimmt, da je steiler diese Kurve verläuft, desto schärfer dieser Rand sich ausbilden muß. Mit dem Auflösungsvermögen der Platte hat also diese bei den praktischen Aufnahmen auffallende Verschiedenheit der Schärfe von Linien und Punkten wenig zu tun, da die Lichtstreuung in der Schicht (der Trübungsfaktor) fast immer von einer viel kleineren Ordnung als die durch Fehler des Objektivs bedingte Ausbreitung der Abbildung ist.

Digitized by Google

3c) Wiedergabe von Abständen (Verziehung der Schicht). Ueberall, wo die photographische Aufnahme als Unterlage zur Bestimmung der räumlichen Lage von Objekten benutzt werden soll, ist die Frage, ob die Schicht, die als Träger des Silberniederschlages dient, bei der Fertigstellung des Bildes ihre ursprünglichen Dimensionen beibehält, von einschneidender Bedeutung. Je nach den Ansprüchen, die an die Genauigkeit des Messens gestellt werden, wird die Antwort auf die Frage verschieden lauten. Bilder auf Papierunterlage verändern sich beim Trocknen stark in allen Dimensionen, so daß eine größere Konstanz als etwa 1% nicht erwartet werden darf. Kollodiumplatten, deren Schicht lose auf der Glasunterlage ausgebreitet ist, zeigen manchmal Differenzen von etwa 0,2%. Gelatineplatten, die heutzutage fast ausschließlich in Betracht kommen, zeigen selten Differenzen, die größer sind als etwa 0,02%. Allerdings kommt es vor, daß an einzelnen Stellen der Platte beträchtliche lokale Verziehungen entstehen, die (nach Angaben von Scheiner) sogar mehrere Millimeter groß sein können. Um den Einfluß der Verziehung von Schichten nach Möglichkeit zu reduzieren, wird manchmal (z. B. in der Astrophotographie) auf die Platte vor oder nach der Aufnahme ein feines Netz von bekannten Dimensionen aufkopiert, so daß nur kleine Längen (als Abstände der aufgenommenen Punkte von den benachbarten Linien des Netzes) zu messen sind.

3d) Wiedergabe von Farben (orthochromatische Photographie). Die Farben der Natur können in der photographischen Nachbildung entweder in ihren Farbwerten genau wiedergegeben oder ihrer Helligkeit entsprechend durch ein dunkleres oder helleres Grau dargestellt werden. Bis vor wenigen Jahren war man bei der praktischen Ausübung der Photographie auf die zweite Möglichkeit allein angewiesen. Da auch jetzt noch die Zahl der farbigen Photographien außerordentlich gering im Verhältnis zu den monochromen ist, so gelten alle unsere Betrachtungen, soweit diese Einschränkung nicht aufgehoben ist, nur für die einfarbigen Aufnahmen. Bei dieser letzten Art der Photographie kommt es nun darauf an, daß die Helligkeiten der einzelnen Farben der Natur so wiedergegeben werden, wie das menschliche Auge sie empfindet. Die gewöhnlichen hochempfindlichen Platten erfüllen diese Bedingung nicht, da sie sich dem Sonnenspektrum gegenüber ganz anders verhalten als das Auge. Während für das letztere das Maximum der Helligkeit im gelb grünen Teil des Spektrums liegt, wirken z. B. auf die Bromsilbergelatine in der Hauptsache die kurzwelligen Strahlen (Fig. 2). Um tonrichtige Aufnahmen zu erhalten, muß die Blau- und Violettempfindlichkeit stark reduziert werden, oder die Grün-, Gelb- und Rotempfindlichkeit so weit erhöht werden, daß das Verhalten der Platte gegenüber dem Spektrum demjenigen des Auges ungefähr entspricht. H. W. Vogel hat im Jahre 1877 entdeckt, daß Bromsilber durch Anfärben mit gewissen Anilinfarbstoffen eine erhöhte Empfindlichkeit für solche Lichtstrahlen erhält, die von dem Farbstoff besonders stark absorbiert werden. Eine Erklärung für diese „sensibilisierende" Wirkung konnte bis jetzt noch nicht gefunden werden. Bei manchen Farbstoffen konnte eine chemische Verbindung mit Bromsilber konstatiert werden, während in anderen Fällen scheinbar nur eine lose Adsorptionsverbindung vorliegt. Eigentümlich ist es, daß Chlorsilber sehr leicht sensibilisiert werden kann, während Jodsilber die Farbstoffe stark adsorbiert, dabei aber sein Verhalten dem Spektrum gegenüber kaum ändert.

Nach einer Regel von Kundt erstreckt sich die erhöhte Empfindlichkeit weiter nach dem roten Ende des Spektrums zu, als es nach dem Absorptionsbande des angewandten Farbstoffes zu erwarten wäre.

Auch nach dem Anfärben ist die Empfindlichkeit für die gelb-grünen Strahlen noch nicht so groß, wie sie nach den obigen Ausführungen sein müßte, um eine richtige Wiedergabe der Farben zu ermöglichen. Es wird deshalb noch der zweite oben angedeutete Weg gewählt und durch ein Filter, das zwischen dem Objekt und dem Bromsilber an irgendeiner Stelle eingeschaltet wird, die Wirkung des kurzwelligen Teiles des Spektrums vermindert. Zu diesem Zwecke dienen die Gelbfilter, die in Form einer angefärbten Gelatineschicht oder als Lösung eines geeigneten gelben Farbstoffes

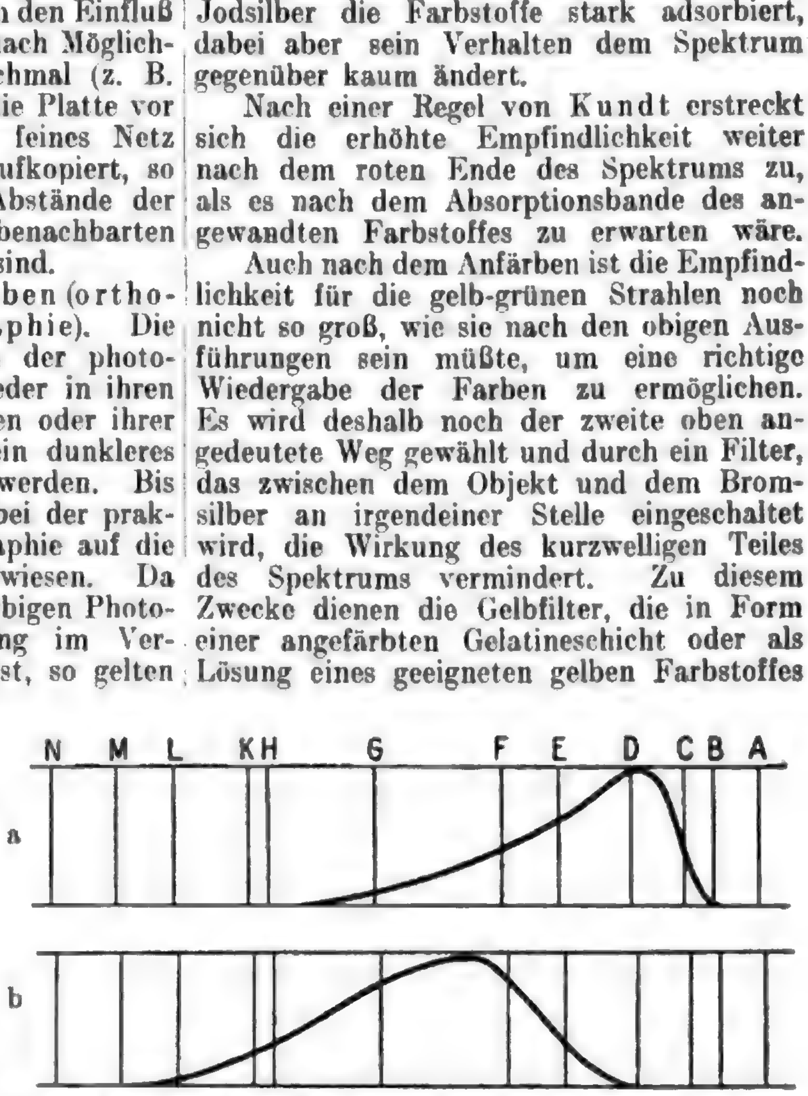


Fig. 2. Wirkung des Sonnenspektrums a) auf das Auge, b) auf eine Bromsilberplatte.

vor oder hinter dem Objektiv angebracht werden. Nur mit Hilfe solch eines Filters kann man wirklich tonrichtige (orthochromatische) Aufnahmen erzielen. Manchmal wird das Filter in die Schicht der empfindlichen Platte verlegt. Zu diesem Zwecke wird die Gelatine entsprechend angefärbt oder die „Schirmwirkung“ des Sensibilisators geschickt ausgenützt, die dadurch entsteht, daß die meisten zur Herstellung orthochromatischer Platten verwandten Farbstoffe das Blau und Violett stark absorbieren und außer der sensibilisierenden Wirkung als Filter funktionieren. Der Grund, weshalb noch immer weitaus die meisten zur Aufnahme gelangenden Platten nicht sensibilisiert sind, liegt einerseits darin, daß die Gesamtempfindlichkeit durch das Anfärben und besonders durch das Filter stark herabgedrückt wird, so daß kurze Momentaufnahmen mit orthochromatischen Platten nur in Ausnahmefällen möglich sind, und andererseits darin, daß die Haltbarkeit der angefärbten Platten fast immer geringer als die der gewöhnlichen ist.

3e) Farbenphotographie. Von den vielen Methoden der Farbenphotographie ist keine einzige soweit technisch vollkommen, daß sie der monochromen Photographie eine ernstliche Konkurrenz machen könnte. Man unterscheidet meist zwischen den direkten und indirekten Methoden der farbigen Photographie. Zu den ersteren gehört die Interferenzphotographie nach Lippmann, deren Wesen im Artikel „Lichtinterferenz“ beschrieben wird. Außer dieser Methode hat sich kein anderes direktes Verfahren bis jetzt praktisch bewährt, so daß hier nur von der indirekten Farbenphotographie gesprochen werden soll.

Nach den Gesetzen der Farbenmischung kann jeder beliebige Ton aus drei Grundtönen gemischt werden. Eine Mischung von Farben kann auf zwei prinzipiell verschiedenen Wegen erzielt werden, die am besten als physikalisch und physiologisch bezeichnet werden. Auf physiologischem Wege (oder additivem) gelangen zwei Farben zur Mischung, wenn die Abbildungen zweier gefärbten Objekte auf eine Stelle der Netzhaut des Auges fallen. Dann empfindet das Auge einen Mischton, dessen Art durch die physiologischen Gesetze (insbesondere die Gesetze von Graßmann) bestimmt ist. Um eine solche Mischung zu bewerkstelligen, kann man z. B. die beiden Objekte aus einer großen Entfernung betrachten, oder ihre räumliche Größe so gering wählen, daß der Winkel, der die beiden Farbenflecke einschließt, unterhalb des Auflösungsvermögens des Auges (etwa 1′, vgl. hierzu den Artikel „Lichtbeugung“) liegt. Schließlich kann man die Abbildungen beider Objekte auf- oder nacheinander auf eine weiße Wand optisch projizieren und das gemeinsame Lichtbild mit dem Auge betrachten. Als Grundfarben, aus denen alle anderen gemischt werden sollen, nimmt man am besten solche Töne, die im Farbenkreis (vgl. den Artikel „Farbe“) möglichst weit auseinander liegen. Solche Töne sind z. B blauviolett, gelbgrün und rot. Der Grund hierfür liegt in der physiologischen Tatsache, daß jede Mischung von zwei Farben weißlicher ist als die ursprünglichen Farben, wobei diese Weißlichkeit um so stärker ausgeprägt ist, je weiter die Grundfarbentöne im Farbenkreis voneinander liegen.

Um ein praktisches Verfahren der Farbenphotographie auf Grund der Farbenmischungsgesetze aufzubauen, muß man drei in den gewählten Grundfarben (also blau, bezw. grün und rot) gefärbte Photographien herstellen können, die nur diejenigen Stellen des zu photographierenden farbigen Objektes registrieren, die in der Färbung der betreffenden Urfarbe entsprechen. Diese drei Farbenteilbilder werden entweder auf ein und dieselbe Fläche projiziert oder in Form von recht kleinen, intensiv in dem jeweiligen Grundton gefärbten Farbflecken auf einer durchsichtigen Platte so durcheinander gebracht, daß das Auge beim Betrachten der Platte nicht die einzelnen Töne, sondern eine Mischfarbe sieht. Das erste Verfahren ist besonders von Ives und von Miethe, das zweite von Lumière praktisch ausgearbeitet. Beide gehören zu den vollkommensten Methoden der farbigen Photographie. Das Herstellen der drei in den Urtönen gefärbten Teilbilder ist verhältnismäßig einfach. Drei für sämtliche Spektralfarben empfindliche („panchromatische“) photographische Platten werden hinter Lichtfiltern, die in der Farbe den Urtönen (blau, bezw. grün und rot) entsprechen, belichtet. Nach der Entwickelung wird von jedem Negativ ein Diapositiv hergestellt und direkt zur Projektion benutzt. Vor jedes Diapositiv wird dabei ein Filter eingeschaltet, das die Farbe des Aufnahmefilters (also des betreffenden Urtones) hat. In den weißen Stellen des Bildes mischen sich alle drei Urtöne zu einem weißen Eindruck im Auge, in den schwarzen Teilen wird dagegen von keinem Diapositiv Licht durchgelassen, so daß die Projektionswand an diesen Stellen auch schwarz erscheint. In den farbigen Stellen werden schließlich die drei Diapositive ungleiche Dichte besitzen, wobei diejenige Farbe dominieren wird, die im aufgenommenen Naturobjekt an der betreffenden Stelle vorherrscht. Dieses Verfahren liefert sehr naturtreue farbenprächtige Bilder, hat aber den großen Nachteil, daß eine teuere und ziemlich komplizierte Apparatur zur Be-

Digitized by Google

trachtung der Bilder notwendig ist. Anstatt der Projektionslaternen kann man übrigens auch die einfacheren Chromoskope von Ives zur optischen Vereinigung der farbigen Teilbilder gebrauchen.

Das zweite erwähnte Verfahren von Lumière gehört zu der großen Klasse von Farbrasterverfahren. Hier wird nur eine Aufnahme gemacht. Die in der Farbe den Urtönen entsprechenden Filter sind in die Platte hineinverlegt, indem sie in Form eines Netzes oder nebeneinander liegender Punkte über der lichtempfindlichen Schicht (meistens zwischen der Schicht und der Glasunterlage) angeordnet sind. In den Netzrastern wechseln die einzelnen Farben regelmäßig ab, in Kornrastern sind die Punkte unregelmäßig durcheinander gemischt. Auch hier wird vom Negativ ein Diapositiv hergestellt und in Berührung mit dem farbigen Raster in der Durchsicht betrachtet. Die Platten von Lumière (sogenannte Autochromplatten) bestehen aus einem Kornraster, das aus etwa 0,01 mm großen angefärbten Stärkekörnchen zusammengesetzt ist. Ueber das Raster ist eine dünne panchromatische Emulsion gegossen. Nach der Entwickelung des Negativs wird es direkt in ein Diapositiv verwandelt, so daß keine Verschiebung der Rasterelemente gegen die Bildelemente stattfinden kann. Bei der Kleinheit der einzelnen Farbfilterchen würde auch die kleinste Verziehung der Schicht oder des Bildes beim Kopieren des Diapositivs eine totale Verschiebung der Farbwerte hervorrufen. Die Eigenart dieses Verfahrens bringt es mit sich, daß von jeder Aufnahme nur ein direktes Diapositiv hergestellt wird, das in der Durchsicht betrachtet werden muß und nicht (oder nur mangelhaft) vervielfältigt werden kann. Trotzdem hat dieses Verfahren eine sehr große Verbreitung gefunden, da die Farbenwiedergabe verhältnismäßig recht gut und die Ausführung des Prozesses nicht besonders schwierig ist.

Die physikalischen (oder subtraktiven) Methoden der Farbenphotographie beruhen auf der empirisch festgestellten Tatsache, daß die Farben gelb, blau und purpur beim Mischen in Pigmentform oder beim Zusammenlegen von angefärbten Schichten je nach der Menge der einzelnen Bestandteile alle praktisch wichtigen Farbenmischtöne ergeben. Vom physikalischen Standpunkte aus betrachtet handelt es sich hierbei um das Subtrahieren zweier Absorptionsspektra, dessen Ergebnis nur auf Grund einer komplizierten Rechnung vorausgesagt werden kann. Im allgemeinen kann man aber erwarten, daß bei praktisch verwendbaren Pigmenten aus Gelb und Blau ein grüner, aus Rot und Blau ein violetter, aus Gelb und Purpur ein rot- bis orangefarbiger Mischton entsteht. Da bei jeder Subtraktion ein Lichtverlust stattfindet, so muß jeder auf diesem Wege erzielte Farbton schwärzlicher sein als die zur Mischung gelangten Töne. Man kann bei Wahl von Ausgangsfarbstoffen mit geeigneter Form der Absorptionsspektra diese Schwärzlichkeit so weit verringern, daß sie bei paarweiser Mischung der Farbstoffe wenig auffallend wird, und trotzdem beim Mischen aller drei Ausgangsfarbstoffe einen so dunklen Ton erzielen, daß er als Schwarz betrachtet werden kann.

Bei der praktischen Ausführung der „subtraktiven" Farbenphotographie müssen drei Teilnegative angefertigt werden, die ein gelbes, blaues und purpurfarbiges Positiv geben können. Eine einfache Ueberlegung zeigt, daß alle schwarzen Stellen des Bildes in sämtlichen Negativen klar, alle rein weißen dagegen stark gedeckt erscheinen müssen. Erstere sind dann in allen Positiven stark gefärbt, so daß beim Uebereinanderlegen der Positive das gewünschte Schwarz entsteht, letztere dagegen sind in allen Positiven ungefärbt, so daß die weiße Farbe der Papierunterlage trotz den übereinandergelegten Schichten unverändert bleibt. Dieselbe Ueberlegung auf die einzelnen Farben angewendet zeigt z. B., daß die gelben Stellen des aufgenommenen Objektes im Negativ, das zur Herstellung des gelben Teilpositivs bestimmt ist, klar, dagegen in beiden anderen Negativen tief gedeckt sein müssen, damit die purpurne und die blaue Farbe an den betreffenden Stellen nicht vorhanden sind. Diese Ueberlegung dient auch zur Feststellung der Farbe von Aufnahmefiltern, die zwischen dem Objekt und der panchromatischen Platte eingeschaltet werden sollen. Diese Filter müssen zur Erzielung der oben angedeuteten Farbenausscheidung der Farbe des jeweiligen Positivs genau komplementär sein. Bei der Herstellung des gelben Teilbildes verwendet man dementsprechend ein blauviolettes Filter, während für das purpurne bezw. blaue Teilpositiv ein grünes bezw. orangefarbiges Filter dient. Bei der praktischen Ausführung der subtraktiven Farbenphotographie muß außerdem auf die mangelnde Farbenempfindlichkeit der photographischen Platten Rücksicht genommen werden.

Die Herstellung der gefärbten Positive stößt auf mancherlei Schwierigkeiten. Es handelt sich um Anfertigung von drei in verschiedenen Farben intensiv angefärbten durchsichtigen Diapositiven, die dann genau passend übereinander gelegt werden müssen. Am einfachsten können gefärbte Photographien mit Hilfe des Pigmentdruckes angefertigt werden, doch stößt hier das Zusammenbringen von drei Positiven auf einer Unter-

Digitized by Google

lage und das Abstimmen der Stärke von jeder der drei Farben auf verschiedene Schwierigkeiten. Verhältnismäßig einfacher ist das Pinatypieverfahren, bei dem man erst drei einzelne mit Anilinfarben gefärbte Positive anfertigt, die dann nacheinander mit einer Gelatineplatte zusammengequetscht werden. Hierbei diffundiert ein Teil des Anilinfarbstoffes in die Gelatine, so daß ein farbiges Positiv entsteht. Es ist noch eine ganze Anzahl anderer Möglichkeiten bekannt, von denen jedoch keine einzige größere Verbreitung gefunden hat. Eine außerordentliche Bedeutung haben die subtraktiven Methoden bei der Herstellung von farbenphotographischen Nachbildungen in Büchern und Zeitschriften erlangt („Dreifarbendruck").

Eine interessante Abart der subtraktiven Farbenphotographie stellt das Ausbleichverfahren dar. Diese Methode beruht auf der Fähigkeit bestimmter organischer Farbstoffe, im Lichte rasch auszubleichen. Nach dem Gesetze von Grotthus wirkt hierbei nur solches Licht, das von dem Farbstoffe absorbiert wird. Wird also ein blauer Farbstoff auf einer weißen Unterlage ausgebreitet und in der Kamera genügend lange belichtet, so verschwindet die Farbe an allen Punkten, die den gelben und roten Stellen des Naturobjektes entsprechen, da das gelbe und das rote Licht vom blauen Farbstoffe stark absorbiert wird. Die Wirkung des grünen und des violetten Lichtes wird viel weniger intensiv sein, so daß hier der blaue Farbstoff zum Teil erhalten bleibt, während das blaue Licht überhaupt keine Wirkung ausüben wird, da es vom blauen Farbstoff nicht absorbiert wird. Das Ergebnis der Belichtung wird also ein blau gefärbtes Positiv, das alle blauen, grünen und violetten Stellen des Bildes enthält, sein. Wenn man berücksichtigt, daß rot bezw. gelb angefärbte Platten entsprechend gefärbte Positive liefern müssen, und daß auch die Möglichkeit vorliegt, alle drei Farbstoffe gemischt oder übereinander geschichtet auf der gleichen Unterlage auszubreiten und gleichzeitig zu belichten, so wird es klar, daß damit ein einwandfreies System der Farbenphotographie gegeben ist. Bei der praktischen Ausführung der Ausbleichverfahrens entstehen verschiedene Schwierigkeiten. Erstens sind bis jetzt keine Farbstoffe bekannt, die schon in dem schwachen Lichte der photographischen Kamera in genügend kurzer Zeit ausbleichen. Wohl hat man gefunden, daß verschiedene organische Substanzen, insbesondere manche ätherische Oele die Fähigkeit besitzen, das Ausbleichen zu befördern. Immerhin muß man sich vorläufig auf das Kopieren von durchsichtigen farbigen Bildern (z. B. von den oben beschriebenen farbigen Diapositiven, die nach dem Verfahren von Lumière dargestellt sind) beschränken. Noch wichtiger ist der Umstand, daß die zur Herstellung des Bildes verwendeten organischen Farbstoffe auch später ihre Ausbleichfähigkeit zum Teil behalten, so daß die erhaltene Farbenphotographie keinesfalls eine dauernde Einwirkung von starkem Lichte vertragen kann. Fixiermittel, wie sie sonst in der Photographie gebräuchlich sind, kennt man also hier noch nicht, da die vorgeschlagenen Hilfsmittel (Kupfersulfat, Tannin usw.) nur eine schwache konservierende Wirkung haben. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, daß eine Möglichkeit gefunden werden wird, die ankopierten Bilder zu entwickeln, da verschiedene Anzeichen dafür sprechen, daß beim Ausbleichen eine latente Wirkung des Lichtes ähnlicher Art vorhanden ist, wie sie bei Halogensilberverbindungen im ausgeprägten Maße vorliegt. Solche Möglichkeit der Entwickelung würde zugleich auch das Problem des Fixierens der Lösung nahe bringen, da dann auch solche Farbstoffe gebraucht werden können, die der späteren allgemeinen Belichtung standhalten.

4. Die Technik der Photographie. Die Technik der Photographie zerfällt in zwei getrennte Verfahren: 1. das Anfertigen eines primären Photogramms nach der Natur (Negativ) und 2. die Vervielfältigung dieses Photogramms in einer beliebigen Anzahl von Exemplaren (Positiv, Diapositiv, Klischee, Druckplatte, Druck).

Nur das älteste photographische Verfahren, das nach dem Namen des Erfinders Daguerre als Daguerrotypie bezeichnet wird, zeigt keine Trennung in einen Negativ- und einen Positivprozeß. Da dieses Verfahren jetzt keine praktische Bedeutung besitzt, so soll es hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Es beruht auf der bisher noch nicht aufgeklärten Eigenschaft des Jodsilbers nach erfolgter Belichtung Quecksilberdämpfe anzunehmen und dabei matt zu werden. Die Daguerrotypien zeichnen sich durch außerordentliche Zartheit aus, so daß es durchaus nicht ausgeschlossen ist, daß trotz verschiedener Nachteile dieses Verfahren für bestimmte Zwecke der wissenschaftlichen Photographie wieder Verwendung finden wird.

Seit den 40er Jahren werden anstatt der Daguerrotypie ausschließlich solche Verfahren benutzt, die die oben erwähnte Trennung aufweisen. Zur Herstellung der primären Aufnahme nach der Natur werden ausschließlich Halogensilbersalze, die in einer dünnen Schicht auf einer durchsichtigen Unterlage ausgebreitet sind, gebraucht, da ihre Lichtempfindlichkeit bei weitem die der anderen chemischen Verbindungen überragt. Die Schwierigkeit, körnige Silbersalze

Digitized by Google

in gleichmäßiger Schicht auf einer Unterlage auszubreiten, führte zur Anwendung eines kolloiden Bindemittels, wobei es sich herausgestellt hat, daß die Lichtempfindlichkeit bei Wahl eines geeigneten Substrates sehr stark gesteigert werden kann. Bindemittelfreie Platten werden seitdem nur bei Herstellung von Spektralaufnahmen im äußersten Ultraviolett gebraucht, das von den Bindemitteln bereits absorbiert wird („Schumannplatten").

Bei Verwendung von Bindemitteln wird das feinkörnige Haloidsilber am einfachsten durch Fällung eines Haloidsalzes mit Silbernitrat erzeugt. Dies war die Grundlage des von Scott Archer entdeckten sogenannten nassen Kollodiumverfahrens, das noch bis jetzt zur Erzielung besonders scharfer und kontrastreicher Photogramme gebraucht wird. Eine Lösung von Schießbaumwolle und einem Jodsalz in einer Mischung von Aether und Alkohol wird auf einer Glasplatte ausgebreitet. Nach dem Erstarren des Kollodiums wird die Glasplatte in einer wässerigen Silbernitratlösung gebadet, wobei in der Schicht sehr feinkörniges Jodsilber ausscheidet; es wird noch im feuchten Zustande belichtet. Später wurden durch Anwendung besonderer Konservierungsmittel die Kollodiumplatten dauerhafter gemacht, so daß sie noch einige Tage nach der Herstellung in Gebrauch genommen werden konnten. Zur Herstellung orthochromatischer Aufnahmen für bestimmte Zwecke wird als lichtempfindliche Substanz nicht Jodsilber, sondern Bromsilber gebraucht, das in Form einer feinen Suspension im Kollodium bei Fällung von Silbernitrat durch überschüssiges Bromsalz gewonnen wird. Derartige Suspensionen (fälschlich „Emulsionen" genannt) sind sehr haltbar und lassen sich durch Anfärben für alle Strahlen des Spektrums sensibilisieren.

Eine vollständige Umwälzung der photographischen Technik verursachte die Erfindung der Bromgelatine-Emulsionsplatten durch Maddox. Beim Aufbewahren der Emulsionen bei erhöhter Temperatur vergrößert sich das Korn des Silberhaloids in einer auffallenden Weise, wobei jedenfalls die größeren Körner auf Kosten der kleineren wachsen (nach W. Ostwald); gleichzeitig erhöht sich die Lichtempfindlichkeit in hohem Grade. Dieser Vorgang wird als „Reifung" bezeichnet und spielt eine wichtige Rolle bei der Fabrikation von photographischen Platten. Nach der Reifung kann die Emulsion auf einer Unterlage (Glas, Zelluloid oder Papier) ausgebreitet und getrocknet werden. Dann sind die Platten („Trockenplatten") zum Gebrauch fertig und behalten ihre Lichtempfindlichkeit während mehrerer Jahre. Je nach der Verwendungsart wird zur Herstellung von Gelatineemulsionen Bromsilber (hochempfindliche Platten), Chlorsilber (wenig empfindliches Papier) oder eine Mischung von beiden Salzen gebraucht. Manchmal wird auch ein kleiner Zusatz von Jodsilber zugegeben. Die genauen Emulsionsrezepte bilden ein wichtiges Geheimnis der Trockenplattenfabriken.

Die während der Reifung sowie in anderen Stadien der Fabrikation sich abspielenden chemischen Vorgänge sind noch sehr wenig untersucht. Deshalb spielt hier wie in allen Zweigen der chemischen Technik, die der Forschung wenig zugänglich sind, die Erfahrung des Praktikers, in diesem Falle des „Emulsionärs", eine ausschlaggebende Rolle.

Der Mechanismus der Lichtwirkung auf derartig hergestellte photographische Platten scheint sehr komplizierter Natur zu sein. Während bei längerer Belichtung ein Zerfall in Halogen und metallisches Silber nachgewiesen werden kann, erleiden die Halogensilbersalze bei Einwirkung geringerer Lichtmengen eine merkwürdige Veränderung ihrer chemischen Eigenschaften. Es entsteht hierbei scheinbar ein Katalysator, der die Reduzierbarkeit des überschüssigen Bromsilbers außerordentlich verstärkt. Da die Anwesenheit solch einen Katalysators nur auf chemischem Wege nachgewiesen werden kann, während das Mikroskop keine Spur der Bildung eines neuen Körpers zu zeigen vermag, so wird die Wirkung des Lichtes auf Halogensilber als „latent" bezeichnet.

4a) Latentes Bild. Die eigentümliche Fähigkeit eines Entwicklers, sozusagen aus „Nichts" ein Bild hervorzurufen, spornte unzählige Forscher an zur Aufstellung einer Theorie des latenten Bildes. Es ist aber wohl klar, daß bei den außerordentlich komplizierten Verhältnissen einer photochemischen Reaktion im heterogenen System eine solche Theorie erst dann Aussicht auf Erfolg haben wird, wenn unsere Kenntnisse über die Gesetze photochemischer Reaktionen und die Vorgänge in kolloiden Systemen weiter fortgeschritten sind. Es sollen hier deshalb nur die Richtlinien zweier Hypothesen, die nur als Arbeitshypothesen betrachtet werden sollten, angegeben werden. Die Anhänger der Subhaloidtheorie des latenten Bildes (insbesondere Schaum und Trivelli) suchen die merkwürdigen Erscheinungen der Solarisation und des latenten Bildes durch Annahme einer ganzen Reihe von Zwischenreaktionen zu erklären, deren Geschwindigkeitskonstanten verschieden sind und die in verschiedener Richtung verlaufen können, je nach der Energieform, die den Anstoß zur Reaktion gibt. Das normale Silberhaloid soll sich hierbei unter dem Einflusse des

Digitized by Google

gewöhnlichen Lichtes in ein α-Subhaloid, das entwickelungsfähig ist, verwandeln. Bei weiterer Einwirkung des Lichtes geht dann das α-Subhaloid in ein β-Subhaloid über, das keine Entwickelungsfähigkeit besitzt. Es kann wohl kaum geleugnet werden, daß diese Hypothese vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus sehr gut als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen dienen kann. Im Gegensatz zu diesen Anschauungen nehmen die Anhänger der Adsorptionstheorie (besonders Lüppo-Cramer) an, daß die Reduktion des Haloidsilbers im Lichte bis zur Bildung vom metallischen Silber geht, das sich in kolloidaler Form ausscheidet und vom überschüssigen Silberhaloid adsorbiert wird. Solche Adsorptionsverbindungen sind in der Tat synthetisch hergestellt worden (Photohaloide) und sind in ihren chemischen Eigenschaften der Substanz des latenten Bildes sehr ähnlich. Zur Erklärung einiger besonderer Formen von Umkehrungserscheinungen muß dann noch das Phänomen der Zerstäubung von Silberhaloiden im Lichte herangezogen werden.

Als Umkehrungserscheinungen bezeichnet man folgende Tatsachen: 1. Bei sehr langer Einwirkung einer bestimmten Lichtart nimmt die Entwickelungsfähigkeit nicht weiter zu, sondern vielmehr ab (Solarisation). 2. Die Wirkungen zweier verschiedener Lichtarten addieren sich nicht direkt (anomale Summationserscheinungen); zuweilen ist sogar die Gesamtwirkung kleiner als die jedes einzelnen der Summanden. Die wichtigste aller Umkehrungserscheinungen, die Solarisation, wurde bereits oben beschrieben. Eine bündige Erklärung der Solarisation ist trotz vieler Arbeiten noch nicht vorhanden. Man kann nicht einmal sagen, daß die Solarisation dem Wesen nach den anderen Umkehrungserscheinungen gleich ist. Von diesen sollen der Herschelt-Effekt (Beeinträchtigung der Wirkung kurzwelligen Lichtes durch langwelliges Licht), der Clayden-Effekt (die Wirkung intensiver, aber kurzer blitzartiger Belichtung wird durch eine Nachbestrahlung mit gewöhnlichem Licht vermindert) und das Villard-Phänomen (anomale Summierung der Wirkung von Röntgenstrahlen und von normalem Lichte) erwähnt werden.

4b) Entwickelung des latenten Bildes. Die unbekannte Substanz, die sich beim Belichten eines Silberhaloids bildet, kann die Wirkung bestimmter Reduktionsmittel („Entwickler") auf das überschüssige Silbersalz also den Vorgang

$$\underset{\text{reduzierendes Ion (Entwickler)}}{Ag' + X'} \longrightarrow \underset{\text{Oxydationsprodukt des Entwicklers}}{Ag + X}$$

(s. den Artikel „Reduktion") beschleunigen. Als solches Nährsalz kann entweder das dem Keim des latenten Bildes benachbarte Korn des Silberhaloids oder dem Entwickler beigemengtes gelöstes Silbernitrat funktionieren. Obwohl ein prinzipieller Unterschied zwischen beiden Arten der Entwickelung nicht besteht, wird seit altersher die erste Art (Haloidsilber liefert das Korn des entstehenden Bildes) als „chemische" Entwickelung und die zweite (Silbernitrat im Entwickler) als „physikalische" Entwickelung bezeichnet. Bei der chemischen Entwickelung liegt das entwickelte Korn innerhalb der Bindemittelschicht, während es bei der physikalischen Entwickelung in der Hauptsache meistens lose auf der Schicht sitzt. Der praktisch wichtigste Unterschied zwischen den beiden Arten besteht darin, daß die physikalische Entwickelung feineres Korn liefern kann, aber bedeutend längere Expositionen erfordert, als die chemische. Sie wird aus diesen Gründen heutzutage fast ausschließlich bei Reproduktion von Zeichnungen mit Hilfe des nassen Kollodiumverfahrens gebraucht. Hier liefert schon das überschüssige, auf der nassen Platte befindliche Silbernitrat die notwendige Nährsubstanz. Das feine Korn kommt der Schärfe zugute, die längere erforderliche Exposition ist hier kein Nachteil, da Momentaufnahmen nicht in Frage kommen.

Als Reduktionssubstanz können verschiedene anorganische und organische Verbindungen genommen werden. Von ersteren kommen praktisch nur die Eisenoxydulsalze in Betracht. Das Eisenoxydulsulfat ist wohl imstande, das Silbernitrat zu metallischem Silber zu reduzieren, während es bei Silberhaloiden versagt. Es kann deshalb nur zur Herstellung von physikalischen Entwicklern verwendet werden. Für die chemische Entwickelung kommt außer Eisenoxalat, das früher vielfach, jetzt dagegen nur bei sensitometrischen Versuchen angewandt wird, eine große Reihe von Benzolderivaten in Betracht. Fast alle bekannten Entwickelungssubstanzen werden in alkalischer Lösung, der Natriumsulfit zugesetzt ist, gebraucht. Das letztere Salz dient zum Teil zur Verlängerung der Haltbarkeit des Entwicklers, indem es den Luftsauerstoff weitgehend unwirksam macht; völlig aufgeklärt ist das Verhalten des Natriumsulfits aber noch nicht; neuere Untersuchungen haben ergeben, daß die Funktion des Natriumsulfits eine kompliziertere ist, da es an dem eigentlichen Entwickelungsvorgang ebenfalls beteiligt zu sein scheint (nach Mees). Eine wichtige Rolle spielt hierbei sicher die Löslichkeit von Bromsilber im Natriumsulfit (nach Leubner bildet sich das Komplexsalz $Ag(SO_3)_2'''$).

Bei der Herstellung von neuen Entwickelungssubstanzen können als Anhalt die

Digitized by Google

(besonders von **Andresen** und von **Lumière** und **Seyewetz**) festgestellten Beziehungen zwischen der Entwickelungsfähigkeit und Konstitution dienen.

Zwischen den verschiedenen bekannten Entwicklern besteht kein besonderer Unterschied in bezug auf die Fähigkeit, die letzten Spuren des latenten Bildes zum Vorschein zu bringen. Praktisch verhalten sie sich aber durchaus verschieden, da der sogenannte „Entwickelungsschleier" auf den Negativen je nach der Art des Entwicklers in verschiedener Stärke auftritt. Es wurde schon oben erwähnt, daß das latente Bild als Katalysator für eine langsame Reduktion vom Silberhaloid zu metallischem Silber aufgefaßt werden kann. Diese Reaktion geht also auch an den Stellen vor sich, wo kein latentes Bild vorhanden ist, und ihre Geschwindigkeit hängt von den Eigenschaften der Entwicklersubstanz ab.

Man muß die sogenannten Rapidentwickler von den langsam wirkenden unterscheiden. Die ersten entwickeln erst das auf der Oberfläche der Schicht liegende latente Bild, während die letzteren die ganze Schicht gleichmäßig durchentwickeln.

Während des Entwickelungsvorganges nimmt die Schwärzungskurve der Platte dauernd an Steilheit zu. Man kann zeigen, daß das mittlere gerade Stück der Kurve sich hierbei um einen Punkt, der auf der Abszissenachse liegt, dreht. Die Entfernung dieses Punktes von dem Nullpunkt des Koordinatensystems ist also von der Entwickelungszeit unabhängig und stellt somit eine wirkliche Plattenkonstante dar. Diese Entfernung wird „Inertia" (Beharrungsvermögen) der Platte genannt und dient als Maß für die Bestimmung der Lichtempfindlichkeit nach dem System von **Hurter** und **Driffield** (vgl. oben). Die Tangente des Winkels zwischen dem geraden Stück der Kurve und der Abszissenachse wird mit dem Buchstaben γ bezeichnet und „Entwickelungsfaktor" genannt. Bei fortgesetzter Entwickelung nimmt also γ stark zu und nähert sich allmählich einem Maximum (γ_∞), das auch bei unendlich langer Entwickelung nicht überschritten werden kann (vgl. Fig. 3). Bei normal exponierten, mittelmäßig empfindlichen Platten beträgt γ etwa 1; in diesem Falle werden die in der Natur vorhandenen Lichtabstufungen richtig wiedergegeben. Die höchstempfindlichen Platten erreichen selten diesen Wert, während bei hart arbeitenden Emulsionen manchmal recht hohe Werte von γ_∞ verzeichnet werden können (bis 2 bis $2\frac{1}{2}$). Weitere Steigerung kann man durch Verstärkung erzielen.

Nach den Untersuchungen von **Mees** und **Sheppard** kann die Aenderung der charakteristischen Kurve während der Entwickelung durch die Beziehung

$$\gamma_t = \gamma_\infty (1 - 10^{kt})$$

dargestellt werden, wo k eine von der Entwicklerart abhängige Konstante und t die Zeit des Entwickelns bedeutet.

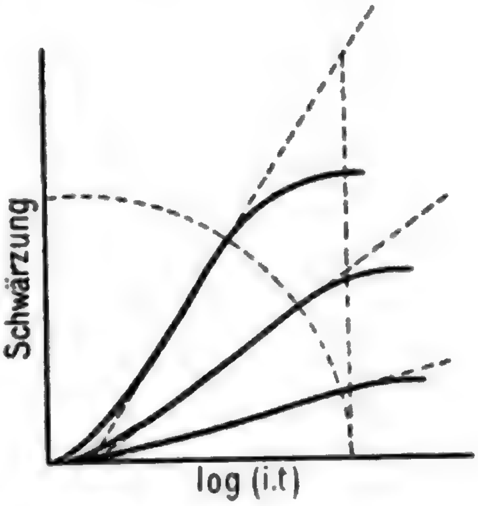


Fig. 3. Aenderung der Schwärzungskurve während der Entwickelung ohne Bromkali.

Die Geschwindigkeit der Reduktion von Silberhaloid zu Silber durch den Entwickler ist wie bei jeder chemischen Reaktion stark von der Temperatur abhängig. Die Werte der Temperaturkoeffizienten bewegen sich bei den einzelnen Entwicklersubstanzen in den bekannten Grenzen. Die Lichtempfindlichkeit an sich ändert sich hingegen sehr wenig mit der Temperatur, so daß hierauf bei den photographischen Aufnahmen keinerlei Rücksicht (abgesehen von extremen Fällen) genommen werden muß. Der Entwickelungsschleier nimmt mit zunehmender Temperatur stark zu, so daß bei hohen Temperaturen die Entwickelung vorzeitig abgebrochen werden muß. Aus diesem Grunde entstehen bei niedrigeren Temperaturen des Entwicklers härtere Bilder, als bei hohen.

Die Reaktionsprodukte spielen beim Entwickeln eine wichtige Rolle. Das bei der Reduktion des Silberhaloids entstehende Halogensalz hemmt infolge der Löslichkeitsverminderung des Halogensilbers (vgl. den Artikel „**Lösungen**") nach dem Massenwirkungsgesetz dessen Reaktionsgeschwindigkeit. Dadurch erklärt sich auch die Verzögerung des Entwickelns durch zugesetztes Haloidsalz (fast immer Bromkali). Der Punkt auf der Abszissenachse, um den sich das gerade Stück der Schwärzungskurve dreht (inertia), verschiebt sich beim Zusatz von Haloidsalz (Bromkali) nach unten (regression of inertia). Diese Verschiebung

Digitized by Google

hat die Wirkung, daß bei kürzerer Entwickelungszeit die Schwärzungskurve so aussieht, als ob weniger empfindliche Platten zur Belichtung gelangt wären (vgl. Fig. 4, nach Luther).

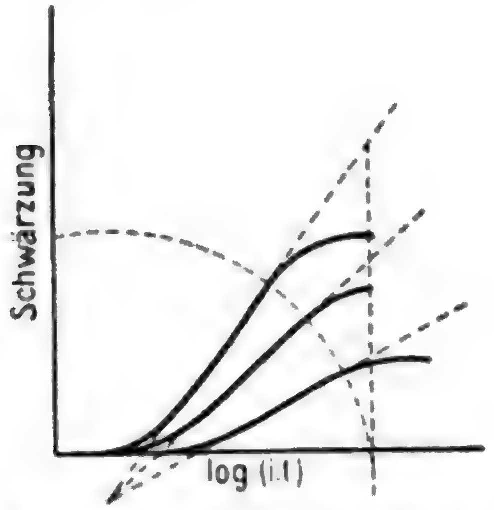


Fig. 4. Aenderung der Schwärzungskurve während der Entwickelung mit Bromkali

Ueberexponierte Platten werden also trotzdem normale Schwärzungskurven ergeben. Bei längerer Entwickelungszeit verschwindet aber der Effekt des Bromkalizusatzes immer mehr und schließlich fallen bei sehr ausgedehnter Entwickelung die Kurven mit und ohne Bromkalizusatz zusammen. Daraus erklärt sich die praktische Regel, wonach überexponierte Platten mit Bromkalizusatz nicht zu lange entwickelt werden dürfen. Die Größe der Verschiebung des Beharrungsvermögens hängt von der angewandten Entwickelungssubstanz ab, so daß die verschiedenen Entwickler ungleiche Empfindlichkeit gegen Bromkali besitzen.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Stärke des Farbstoffbildes, das die Entwickler in den belichteten Stellen neben dem reduzierten Silber erzeugen. Die Oxydationsprodukte der organischen Entwickler sind meist braun gefärbt und verstärken auf diese Weise das entwickelte Bild. Besonders stark ist z. B. diese Erscheinung beim Pyrogallolentwickler ausgeprägt. Die Produkte des Entwickelns haben zumeist eine gerbende Wirkung auf die Gelatine, sodaß sich ein mehr oder minder starkes Relief ausbildet.

4c) Fixieren. Das Fixieren des Bildes dient zur Entfernung des überschüssigen Silberhaloids, das sonst sich allmählich unter dem Einflusse des Tageslichtes schwärzen und einen starken Schleier erzeugen würde. Adsorbierte Reste des Entwicklers würden diese Reaktion noch beschleunigen. Zur Lösung des Jodsilbers in den Kollodiumplatten wird fast ausschließlich Cyankalium angewendet, da die anderen Lösungsmittel das Jodsilber nur sehr langsam angreifen. Die Gelatineplatten werden dagegen mit Natriumthiosulfat behandelt, da das Cyankalium außer der Giftigkeit noch den Nachteil besitzt, daß die Gelatine selbst stark angegriffen wird. In der letzten Zeit wird auch Ammoniumthiosulfat benutzt, da es den Fixierprozeß sehr beschleunigt. Die chemische Wirkung des Thiosulfats auf Silberhaloid besteht in der Bildung eines komplexen Ions wahrscheinlich nach der Gleichung:

$$Na_2S_2O_3 + AgCl = NaAgS_2O_3 + NaCl.$$

Um die Entwicklerreste aus der zu fixierenden Platte zu entfernen, wird oft der Thiosulfatlösung eine schwache Säure (z. B. $NaHSO_3$) zugesetzt. Die Alkalität des in der Schicht enthaltenen Entwicklers wird dadurch vernichtet, seine Reduktionsfähigkeit stark herabgedrückt, so daß die weitere Behandlung (das Fixieren) der Platte bei hellerer (gelber) Beleuchtung stattfinden darf.

Das Thiosulfatsalz löst nicht nur das unbelichtete Silberhaloid, sondern auch das belichtete latente Bild scheinbar vollkommen auf, so daß eine unentwickelte, aber fixierte Platte nach dem Fixieren ganz glasklar erscheint und keine Spur von einem Korn entdeckt werden kann. Trotzdem bleibt aber ein Teil des latenten Bildes hierbei zurück, da bei Anwendung der „physikalischen" Entwickelung (die „chemische" kann hier nicht zum Ziele führen, da keine Nährsubstanz vorhanden ist) das aufgenommene Bild noch nachträglich erscheint. Diese seltsame Erscheinung führte zur Aufstellung der „Keimtheorie" des latenten Bildes (Abegg), wonach das Silberhaloid bei der Belichtung direkt bis zum Silber reduziert wird. Die so entstandenen Silberkeime werden beim Fixieren nicht angegriffen und dienen dann als Katalysator bei der „physikalischen" Entwickelung. Auch bei Annahme der Subhaloidtheorie läßt sich das Phänomen jedoch, wenn auch nicht ganz so einfach, erklären.

Praktisch wird diese Entwickelung nach dem Fixieren sehr wenig angewendet, da die Handhabung nicht einfach ist und bedeutend längere Belichtungszeit bei den Aufnahmen verlangt, als die gewöhnliche Art des Entwickelns. Es ist aber durchaus nicht ausgeschlossen, daß die Zukunft gerade diesem Verfahren gehört, da es das lästige Arbeiten in der Dunkelkammer entbehrlich macht.

4d) Verstärken und Abschwächen. Es wurde bereits oben erwähnt, daß eine Aufnahme nur dann die Helligkeitsunterschiede des photographierten Objektes richtig

Digitized by Google

wiedergibt, wenn die Schwärzungskurve der Platte eine Neigung von 45° zur Abszisse zeigt. In sehr vielen Fällen hat diese Kurve eine geringere oder größere Steilheit und muß dementsprechend korrigiert werden, falls eine naturgetreue Abbildung erstrebt wird. Auch sonst wird man oft eine Veränderung der Form der Kurve vornehmen müssen, so z. B. falls ein starker Entwickelungsschleier vorhanden ist, der an und für sich der Qualität des Bildes nicht schadet, aber die Kopierzeit unnötig verlängert. Manchmal ist ein recht kontrastreiches Negativ erwünscht (z. B. bei Reproduktion von Zeichnungen), das also eine sehr steile Kurve mit einem hohen Werte von γ besitzt. In all diesen Fällen muß eine den Verhältnissen angepaßte Verstärkung oder Abschwächung des Negativs vorgenommen werden.

Unter Verstärkung werden alle Methoden verstanden, die eine Erhöhung der ursprünglichen Dichte des Negativs herbeiführen, während eine Verminderung der Dichte als Abschwächung bezeichnet wird.

Eine Erhöhung der Dichte kann entweder optischer oder chemischer Natur sein. Im ersten Falle wird das metallische Silber, aus dem das Negativ zusammengesetzt ist, in eine Verbindung übergeführt, die für die photographisch wirksamen Strahlen besonders undurchsichtig ist. Im zweiten Falle wird das ursprüngliche Korn auf chemischem Wege vergrößert. Oft werden die beiden Möglichkeiten verbunden, wodurch ein erhöhter Effekt erzielt werden kann. Einen Verstärker, der alle Dichten in einem festen Verhältnis gleichmäßig erhöht, nennt man einen „progressiven" Verstärker (Fig. 5a). Für seine Wirkung gilt die Beziehung:

$$D_v = D_o . n,$$

wo D_o die ursprüngliche Dichte an einer beliebigen Stelle der Kurve, D_v die Dichte

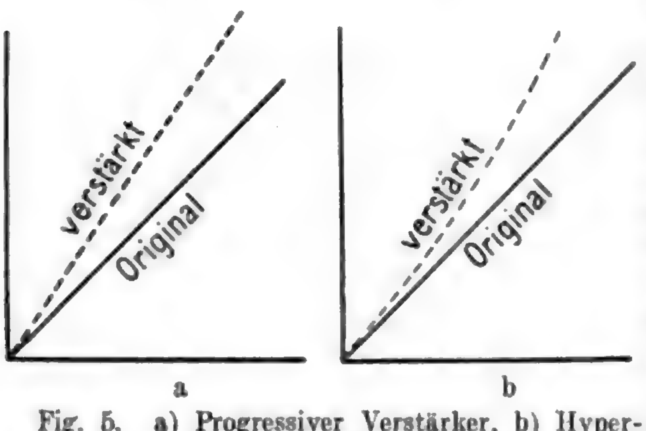


Fig. 5. a) Progressiver Verstärker, b) Hyperprogressiver Verstärker.

derselben Stelle nach der Verstärkung und n das Verstärkungsverhältnis bedeutet. Ist der Wert von n nicht konstant, sondern bei größeren Dichten höher als bei kleinen, so wird der angewandte Verstärker als „hyperprogressiv" (Fig. 5b) bezeichnet (Schuller).

Es ist eine große Anzahl von verschiedenen Verstärkern bekannt. Am meisten werden der Sublimat- und der Uranverstärker praktisch verwendet. Die Wirkung von Sublimat auf metallisches Silber besteht in der Bildung von Chlorsilber und Kalomel. Das Korn wird also hierbei vergrößert. Der entstehende weiße Niederschlag kann auf verschiedene Weise geschwärzt werden, so z. B. durch Ammoniak (wobei allerdings das AgCl gelöst wird), durch Entwickelung (Reduktion zu Silber und Quecksilber), durch Einwirkung von Natriumsulfit (wobei das AgCl zum Teil gelöst wird und daher mit Vorteil vor der Schwärzung durch Zusatz von KBr zum Sublimat in AgBr verwandelt wird) usw. Die letztgenannte Art der Schwärzung ergibt eine besonders intensive Verstärkung.

Bei Anwendung von Quecksilberjodid (gelöst im Ueberschuß von Jodkali) kann man auf eine Schwärzung überhaupt verzichten, da das hierbei entstehende Silber-Quecksilber-Doppelsalz gelb gefärbt ist und dementsprechend violettes und ultraviolettes Licht stark absorbiert. Dieser letzte Verstärker gibt bei sachgemäßer Anwendung ausgezeichnete Resultate.

Der Uranverstärker beruht auf der Reaktion zwischen Uranylferricyan und Silber, wobei stark braun gefärbtes Uranylferrocyan entsteht. Dieser Verstärker ist außerordentlich intensiv, färbt aber die Gelatine gelb und ist nur mit großen Vorsichtsmaßregeln zu gebrauchen. Auch Blei, Kupfer- und Zinnsalze können zur Herstellung von Verstärkern dienen.

Während die Verstärker nur zur Erhöhung der Steilheit der Schwärzungskurve verwendet werden, kann bei Abschwächern eine verschiedenartige Wirkung auf die Gestalt der Kurve erzielt werden. Man teilt die Abschwächer (nach Luther) in folgende Klassen:

1. „Subtraktive" Abschwächer, deren Wirkung in einer Verringerung sämtlicher Dichten des Negativs um einen konstanten Betrag besteht. Nach der oben angewandten Bezeichnungsweise ist also $D_a = D_o - n$, wo D_a die Dichte nach der Abschwächung bedeutet (Fig. 6a). Diese Abschwächungsart wird überall von Nutzen sein, wo ein Schleier zu entfernen ist, aber die Gradation unverändert gelassen werden soll. Sie wird oft als Vorstufe zur Verstärkung verwandt, da auf diese Weise eine besonders starke Erhöhung der Steilheit der Kurve möglich ist. Zu diesem Typus von Abschwächern gehört

Digitized by Google

der wichtige Farmersche Abschwächer, der auf der Ueberführung des Silbers in Ferricyansilber und Lösen des letzteren in Natriumthiosulfat beruht. Beide Vorgänge werden verbunden, indem ein Gemisch von $K_3Fe(CN)_6$ und $Na_2S_2O_3$ zur Anwendung gelangt.

2. „Proportionale" Abschwächer (Fig. 6b), die eine gleichmäßige Verringerung der Dichte aller Stellen im Negativ, d. h. eine Verminderung der Steilheit der Schwärzungskurve bewirken. In diesem Falle ist $D_a = \frac{D_0}{n}$, wo n eine konstante Zahl ist. Durch Verwandeln des aus Silber bestehenden Negativkornes in eine Substanz mit einem anderen Absorptionskoeffizienten kann man jeden beliebigen Wert von n erreichen. Eine interessante Anwendung dieses Prinzips haben Luther und Sforza durch Verwandeln der Negativsubstanz in ein Farbstoffbild und Kopieren in passend gewähltem farbigen Lichte (Universalnegativ) gegeben. Die progressiven Abschwächer wird man mit Vorteil bei überentwickelten Negativen anwenden.

3. „Superproportionale" Abschwächer (Fig. 6c), mit der Wirkung: $D_a = \frac{D_0}{m}$, wo m eine inkonstante Zahl ist, die bei größeren Dichten einen steigenden Wert aufweist. Diese Abschwächer werden zur Korrektion besonders harter Negative oft verwendet. Am bekanntesten ist der Persulfatabschwächer, dessen Wirkung erst in der letzten Zeit aufgeklärt wurde (Schuller). Es stellte sich heraus, daß die Geschwindigkeit der Reaktion zwischen Ammoniumpersulfat und metallischem Silber durch Silberionen stark katalytisch beeinflußt wird. Dadurch erklärt es sich, daß in den dichteren Stellen des Negativs die Wirkung des Persulfats eine bedeutend kräftigere ist, als in den Mitteltönen, so daß die Schwärzungskurve einen typischen Knick erhält. Bei Anwesenheit eines Ueberschusses von Chlor- oder Silberionen verschwindet die eigentümliche Wirkung des Persulfats und es ergibt sich ein proportionaler Abschwächer.

4. „Subproportionale Abschwächer". $D_a = \frac{D_0}{p}$, wo p bei kleinen Dichten einen höheren Wert hat, als bei großen (Fig. 6d). Diese Abschwächer bewirken eine Verminderung des Schleiers und gleichzeitige Erhöhung der Steilheit der Kurve. Sie werden selten gebraucht. Zu dieser Klasse gehört z. B. der Abschwächer von Monkhoven (ein in Quecksilberbromid gebleichtes Negativ wird durch eine Mischung von KCN und $AgNO_3$ geschwärzt).

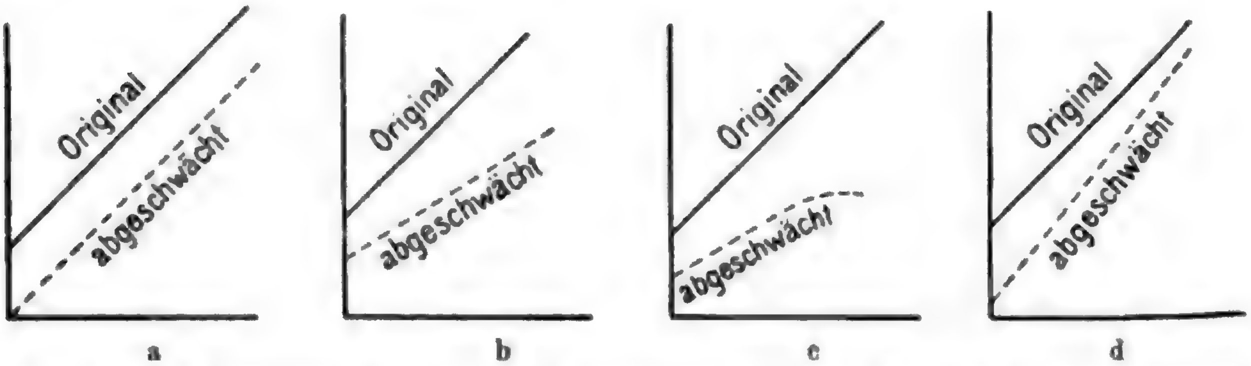


Fig. 6. a) Subtraktiver Abschwächer. b) Proportionaler Abschwächer. c) Superproportionaler Abschwächer. d) Subproportionaler Abschwächer.

4c) **Herstellung von Positiven.** Die einfachste Art der Anfertigung eines positiven photographischen Bildes nach einem vorhandenen Negativ besteht im Kopieren des Negativs auf eine lichtempfindliche Platte und Entwickelung derselben. Die hierbei entstehenden Photogramme müssen in der Durchsicht betrachtet werden und werden deshalb „Diapositive" genannt. Aus praktischen Gründen werden zur Herstellung von Diapositiven wenig empfindliche, klar arbeitende und feinkörnige Platten gebraucht. Am besten eignen sich hierzu ungereifte Bromsilberemulsionen oder Mischungen von Brom- und Chlorsilber.

Dieselben Emulsionen können auf Papier statt auf Glas ausgebreitet werden und ergeben dann die Möglichkeit, schnell und einfach eine beliebige Anzahl von Positiven herzustellen. Das reine Bromsilberpapier ist ziemlich empfindlich und wird in der Hauptsache zur Herstellung von Vergrößerungen und sogenannten „Kilometer- oder Rotationsphotographien" verarbeitet. Mit Hilfe von Spezialmaschinen wird ein und dasselbe Negativ viele Hunderte Mal auf eine Rolle von Bromsilberpapier kopiert. Nach der Belichtung wird das Papier durch Tröge, die mit Entwickler und Fixierlösung

Digitized by Google

gefüllt sind, durchgelassen, gewaschen, getrocknet und in Einzelblätter geschnitten. Auf diese Weise werden die Kopien so billig hergestellt, daß sogar eine Konkurrenz mit gewöhnlichem Druckverfahren möglich wird.

Lichtempfindliche Papiere, die mit einem Gemisch von Chlor- und Bromsilber hergestellt sind, werden unter dem Namen „Gaslichtpapiere" vielfach zur Anfertigung von Kopien verwendet. Bei diesen Papieren kann die Entwickelung bei genügender Vorsicht im schwachen Lichte einer gewöhnlichen Petroleumlampe vorgenommen werden, so daß eine Dunkelkammer entbehrlich wird. Auch die Abschätzung der Expositionszeit ist hier nicht so schwierig, wie bei den reinen Bromsilberpapieren. Die Vorgänge bei der Belichtung, sowie beim Entwickeln und Fixieren der Papiere unterscheiden sich nicht von den Negativprozessen, wie sie oben beschrieben wurden.

Durchaus eigenartig sind hingegen die Vorgänge bei der Verarbeitung von Auskopierpapieren. Bereits die ältesten Versuche, Bilder mit Hilfe von lichtempfindlichen Substanzen herzustellen, beruhten auf der direkten Schwärzung der Silbersalze im Lichte. Während früher die Ansicht verbreitet war, daß diese Schwärzung in einer vollständigen Reduktion des Silbersalzes bis zum metallischen Silber bestehe, neigt man jetzt zu der Meinung, daß, ebenso wie bei der Entstehung des latenten Bildes, so auch hier im Lichte nur ein Zwischenprodukt — ein „Photohaloid" — entsteht, das erst durch die folgenden Operationen (Fixieren) in metallisches Silber verwandelt wird.

Ueber die Natur des Photohaloids ist nichts Genaueres bekannt. Auffallend ist, daß bei direkter Schwärzung im Lichte das Chlorsilber empfindlicher ist als die anderen Silberhaloide, während das latente Bild am schnellsten bei Bromsilber entsteht.

Die Farbe des Silbers, das beim Spalten des Photohaloids entsteht, ist je nach dem Verteilungsgrad des Silberhaloids und je nach dem Einbettungsmittel (Gelatine, Kollodium, Kasein, Albumin) hellgelb bis braun. Ueber den Zusammenhang zwischen der Farbe und der Größe des Silberkornes wurden insbesondere von Chapman Jones Untersuchungen angestellt. Das entstehende Silberkorn ist immer außerordentlich fein und wird deswegen viel schneller vom Luftsauerstoff angegriffen und oxydiert, als das verhältnismäßig grobe Korn der entwickelten Negative. Dadurch erklärt sich das schnelle Ausbleichen der fixierten Kopien unter dem Einfluß von Licht und Luft. Zur Erhöhung der Haltbarkeit wird das Silberkorn ganz oder teilweise in Gold oder Platin (also ein edleres Metall) durch Behandlung mit einer entsprechenden Lösung übergeführt. Diese Operation kann gleichzeitig mit dem Fixieren der Kopien (gemischtes Tonfixierbad) oder getrennt vorgenommen werden. Das getrennte Tonen ergibt haltbarere Bilder, da in diesem Falle beide Operationen ohne Rücksicht aufeinander ausgeführt werden können, während beim gemischten Tonfixierbad oft mangelhaft ausfixierte Bilder aus der Lösung entfernt werden müssen, damit der Tonprozeß nicht zu weit geht. Die fixierten Kopien müssen besonders lange gewässert werden, da die Papierfasern das Natriumthiosulfat stark adsorbieren. Aber auch bei Anwendung aller Vorsichtsmaßregeln ist die Lebensdauer der Auskopierbilder keine unbegrenzte. Photogramme, die dokumentarischen Wert haben, sollten nie als Silberkopien angefertigt werden. In all diesen Fällen müßte das Pigmentverfahren (vielleicht auch Platindruck) angewendet werden, das absolut licht- und luftechte Bilder ergibt.

Das Pigmentverfahren beruht auf einer vollständig anderen Grundlage als alle bisher beschriebenen photographischen Prozesse. Eine Mischung von Gelatine mit einem Bichromatsalz verliert bei genügend langer Belichtung die Fähigkeit, im kalten Wasser aufzuquellen und im warmen Wasser sich aufzulösen. Dieser Vorgang wird als Gerbung bezeichnet und dadurch erklärt, daß sich bei der Belichtung Chromoxyd bildet, das als gerbende Substanz funktioniert.

Wird eine Schicht der Bichromatgelatine auf einer Papier- oder Glasunterlage ausgebreitet und unter einem Negativ belichtet, so schreitet die Wirkung des Lichtes allmählich in die Schicht hinein und erstreckt sich in den durchsichtigen Stellen des Negativs viel tiefer als in den stärker geschwärzten. Wird nach einer gewissen Zeit die Schicht in warmes Wasser gelegt, so schwimmt die unlöslich gewordene belichtete Haut ab, da die unteren Gelatineteilchen noch quellbar geblieben sind und sich im heißen Wasser lösen. Aus diesem Grunde wird die belichtete Pigmentkopie vor dem Einlegen in heißes Wasser mit einer festen Unterlage (gelatiniertes oder gewachstes Papier) zusammengequetscht und erst dann „entwickelt". Hierbei bleiben alle unlöslich gewordenen Gelatineteilchen auf der neuen Unterlage haften, während die überschüssige Gelatine sich im Wasser auflöst. Auf der neuen Unterlage entsteht auf diese Weise ein schwaches Relief aus Gelatine, das alle Einzelheiten des Negativs in Form von dickeren oder dünneren Gelatineschichten wiedergibt.

Digitized by Google

Es genügt, das erhaltene Relief in einer Lösung irgendeines Anilinfarbstoffes zu baden, um ein entsprechend gefärbtes Positiv zu erhalten. Viel richtiger ist es jedoch, schon bei der Anfertigung der lichtempfindlichen Schicht eine gefärbte Gelatine zu verwenden, da dann auch vollkommen lichtechte Farbstoffe (z. B. Ruß) verwendet werden können.

Bei der praktischen Herstellung von Pigmentdrucken wird fast immer ein käufliches Papier genommen, das mit einer angefärbten Gelatineschicht versehen ist und durch Baden in einer Lösung von Alkalibichromat sensibilisiert wird. Die praktischen Nachteile des Verfahrens bestehen in der geringen Haltbarkeit des sensibilisierten Papiers und in der Schwierigkeit, die Kopierzeit richtig zu bestimmen, da beim Kopieren keine Aenderung der Papierfarbe sichtbar wird und ein Seidenpapierphotometer zur Hilfe genommen werden muß. Auch im Dunkeln wird allmählich (im Laufe von wenigen Tagen) die Gelatine unter dem Einflusse des Bichromations unlöslich, so daß der photochemische Prozeß nur als Beschleunigung der Dunkelreaktion aufgefaßt werden muß. Ob eine photochemische Nachwirkung stattfindet, steht nicht ganz fest.

Das Pigmentverfahren hat eine ganze Reihe von praktischen Abänderungen erlitten. So wird z. B. die Gelatine manchmal durch Gummi arabicum ersetzt, das im Gemisch mit Farbstoff und einem Bichromatsalz auf Papier gestrichen wird. Dieses Gemisch verbindet sich mit den Fasern des Papiers und ergibt beim Kopieren ein Korn, so daß die beim Pigmentprozeß erwähnte Uebertragung auf eine neue Unterlage vor dem Entwickeln entbehrlich wird. Es ist aber klar, daß feinere Einzelheiten des Negativs durch das verhältnismäßig grobe Korn zerstört werden. Der „Gummidruck“ eignet sich aus diesem Grunde nur für Vergrößerungen und wird in der wissenschaftlichen Photographie niemals angewendet. Andere Abarten des Pigmentdruckes wie das Ozobromverfahren, die Ozotypie usw. haben auch verhältnismäßig wenig Verbreitung gefunden.

Außer Silber- und Chromsalzen haben noch viele andere Substanzen praktische Verwendung beim Kopieren gefunden.

Im großen Maßstabe wird z. B. das Kopieren von Plänen und technischen Zeichnungen auf Papier, das mit Eisensalzen präpariert ist, ausgeführt. Organische Eisenoxydsalze werden vom Lichte verhältnismäßig rasch reduziert und können dann mit Ferricyankalium eine tiefblau gefärbte Verbindung (Turnbullblau) bilden. Es handelt sich hierbei um eine Beschleunigung einer auch im Dunkeln vor sich gehenden Reaktion. Meist werden beide Salze gemischt auf Papier aufgetragen, so daß nach dem Kopieren nur eine Entfernung der löslich gebliebenen Teile notwendig ist, um ein fertiges Bild zu erhalten. Beim direkten Kopieren von Zeichnungen, die auf Pauspapier hergestellt sind, erhält man selbstverständlich eine negative Wiedergabe des Originals.

Andererseits ist es möglich, aus dem bei der Belichtung unverändert gebliebenen Eisenoxydsalz das stark gefärbte Berlinerblau durch Einwirkung von Ferrocyankalium herzustellen. In diesem Falle entstehen beim Kopieren von Zeichnungen direkte Positive.

Da das im Lichte gebildete Eisenoxydulsalz Edelmetalle aus ihren Salzen zu reduzieren vermag, so ist es möglich, durch eine Kombination eines organischen Eisenoxydsalzes mit einem Silber- oder Platinsalz sehr haltbare sogenannte Argentotypien und Platinotypien herzustellen. Das letztere Verfahren ergibt außerordentlich haltbare Kopien von sehr schöner Farbe und hat deshalb eine wichtige praktische Bedeutung.

Literatur. **J. M. Eder,** *Ausführliches Handbuch der Photographie.* — **Derselbe,** *Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik, erscheint alljährlich im Herbst.* — **S. E. Sheppard und K. Mees,** *Theorie des photographischen Prozesses. Halle 1912.* — **v. Hübl,** *Dreifarbenphotographie. Halle 1909.* — **E. Englisch,** *Photographisches Kompendium. Stuttgart 1902.* — **Wolf-Czapek,** *Angewandte Photographie in Wissenschaft und Technik. Berlin 1911.* — *Einzeluntersuchungen, auf die im Texte Bezug genommen wurde, sind fast sämtlich in folgenden Zeitschriften: Z. für wissenschaftliche Photographie, Photographische Korrespondenz, British Journal of Photography in den letzten Jahren publiziert und noch nicht in die Bücherliteratur übergegangen.*

E. Goldberg.

Photographische Meßkunst.

Photogrammetrie.

1. Begriff und Theorie der Photogrammetrie. a) Entwickelungsgang der Photogrammetrie. b) Die Photographie als perspektivistisches Bild. c) Orientierung der Bildebene. d) Photographische Winkelmessung. 2. Die photogrammetrische Aufnahme. a) Festlegung eines Raumpunktes von zwei Stationen aus: α) Rechnerische Lösung. β) Graphische Lösung. b) Photogrammetrische Instrumente. c) Vor- und Nachteile des photogrammetrischen Verfahrens. d) Verwendung der photogrammetrischen Aufnahmen. α) Topographie. β) Architektur. γ) Kriegswesen.

Digitized by Google

δ) Wissenschaftliche Zwecke. 3. Die Stereophotogrammetrie. a) Theorie der Stereophotogrammetrie. b) Prinzip der wandernden Marke. c) Stereophotogrammetrische Instrumente. α) Stereophototheodolit von **Pulfrich**. β) der Stereokomparator. γ) der Stereoautograph von **v. Orel**. d) Vorteile der Stereophotogrammetrie.

1. Begriff und Theorie der Photogrammetrie. 1a) **Entwickelungsgang der Photogrammetrie.** Die Photographie vermag durch die Verbindung des Objektivs und der lichtempfindlichen Platte das menschliche Auge zu ersetzen und ist dadurch für Kunst und Technik ein Mitarbeiter von idealen, unübertrefflichen Eigenschaften geworden. Schon die französischen Forscher **Gay-Lussac** und **Arago** erkannten, als ihnen die Erfindung **Daguerres** bekannt wurde, in der Photographie ein nach geometrischen Gesetzen entstandenes perspektivisches Bild und wiesen darauf hin, daß ihre Benützung zu Meßzwecken bei Architektur- und Terrainaufnahmen möglich sein müsse. Die Unzulänglichkeit der damaligen Objektive verhinderte lange die praktische Verwertung dieser Erkenntnis und erst die ungeheuren Fortschritte der photographischen Optik in der letzten Zeit führten zu einer raschen Entwickelung der **photographischen Meßkunst**, der **Bildmeßkunst** oder **Photogrammetrie**.

In die Praxis eingeführt wurde dieses Verfahren durch den französischen Oberst **A. Laussedat**; er verdient es, als Bahnbrecher der Photogrammetrie bezeichnet zu werden. Der Grundgedanke findet sich aber schon bei dem deutschen Forscher **J. H. Lambert** und wurde vor **Laussedat** von dem französischen Ingenieur-Geographen **Beautemps-Beaupré** mit aus freier Hand entworfenen perspektivischen Zeichnungen zur Durchführung gebracht.

1b) **Die Photographie als perspektivisches Bild.** Betrachten wir irgendeinen Gegenstand, so gelangen von allen sichtbaren Punkten desselben Lichtstrahlen geradlinig in unser Auge. Denken wir uns zwischen dem Auge und dem Objekte eine durchsichtige Ebene, z. B. eine Glastafel vertikal aufgestellt und die Schnittpunkte der Strahlen mit der Glastafel irgendwie festgelegt, so entsteht durch die richtige Verbindung der Schnittpunkte ein Gesamtbild, welches, abgesehen von der Farbe, auf das Auge denselben Eindruck macht, wie das Objekt selbst. Das Negativ in der Photographie entsteht aber genau so, wie das perspektivische Bild auf der Glastafel und das gleiche gilt mittelbar vom Positiv, das sich ja vom Negativ nur durch die Umkehrung von Licht und Schatten unterscheidet.

Bei der Verwendung der Photographie zu Vermessungszwecken müssen wir aber berücksichtigen, daß der Durchgang eines Bündels von Lichtstrahlen durch das Objektiv des photographischen Apparates derart erfolgt, daß man sich das Strahlenbündel aus dem Objektraume im ersten Hauptpunkte oder Knotenpunkte der Kameralinse einfallend denken kann, worauf es nach einer geringen Parallelverschiebung aus dem zweiten Hauptpunkte in den Bildraum hinaustritt und die vertikal gestellte, lichtempfindliche Platte affiziert (Fig. 1).

Durch Anbringung von Horizontal- und Vertikalmarken H und V, die mitphotographiert werden, wird der Horizont und die Vertikallinie in der Ebene des Bildes ersichtlich gemacht. Denkt man sich die beiden Linien auf dem photographischen Bilde tatsächlich gezogen, so ergibt der Schnitt derselben den Haupt- oder Augenpunkt Ω des Photogramms. Das Linienkreuz, das durch die Horizont- und Vertikallinie gegeben ist, teilt die Ebene des Bildes in vier Quadranten und gestattet die Lage eines jeden Punktes auf dem Bilde unzweideutig anzugeben, indem man dieses Linienkreuz als Achsenkreuz eines rechtwinkligen

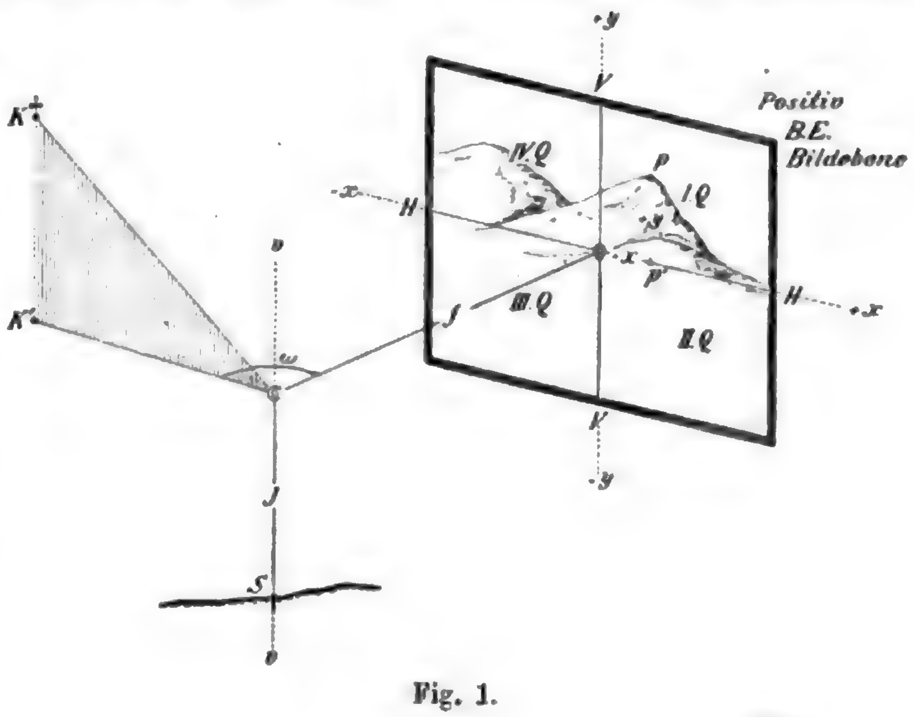


Fig. 1.

Digitized by Google

Koordinatensystems mit dem Hauptpunkte als Koordinatenanfang betrachtet.

Denkt man sich das Positiv im Abstande der Bildweite f (d. i. der Entfernung des Hauptpunktes Ω von dem als Zentrum der Perspektive gedachten Objektivmittelpunkte C) vom ersten Hauptpunkte vertikal aufgestellt und alle Bildpunkte mit dem Zentrum der Perspektive verbunden, so erhalten wir ein Strahlenbündel, das in seiner Verlängerung die Punkte des Originals treffen würde, wenn man das Positiv in jene Lage brächte, die das Negativ bei der Aufnahme hatte.

1c) Orientierung der Bildebene. Hierzu ist die Festlegung der Bildebene im Raume erforderlich und es geschieht dies durch Bestimmung des Winkels, den die lichtempfindliche Platte oder eine mit ihr fest verbundene Gerade, z. B. die optische Achse der Kamera, bei der Aufnahme mit einer bekannten Richtung, z. B. dem astronomischen oder magnetischen Meridiane gebildet hat.

Dieser Winkel ω heißt Orientierungswinkel und muß bei der Aufnahme möglichst genau gemessen werden. Zu diesem Zwecke wird die photographische Kamera mit einem geodätischen Winkelmeßinstrumente verbunden und es ist dann möglich, der optischen Achse der Kamera die gewünschte Lage im Raume zu geben, ihre Neigung im Winkelmaße auszudrücken und die Bildebene im Raume zu orientieren.

1d) Photographische Winkelmessung. Ein photogrammetrisch adjustiertes Photogramm gestattet bei Kenntnis der Bilddistanz f die Horizontal- und Vertikalwinkel der Visierstrahlen, die von Originalpunkten nach dem Objekte kommen, durch Rechnung und Konstruktion zu bestimmen.

Aus Figur 2 ergeben sich aus den rechtwinkligen Dreiecken CΩp′ und Cpp′ für den Neigungswinkel β des Raumstrahles CP mit dem Horizonte und für den Horizontalwinkel α, den die Projektion CP′ des Raumstrahles mit der Bilddistanz f einschließt, folgende Beziehungen:

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \frac{x}{f} \\ \operatorname{tg}\beta &= \frac{y}{\sqrt{x^2+f^2}} \end{aligned}\right\} \qquad 1)$$

wodurch der Horizontalwinkel α und der Horizontalwinkel β des Raumstrahles rechnerisch bestimmt erscheinen und worin x und y die Abszisse und Ordinate des Raumpunktes bedeuten.

Auch auf zeichnerischem Wege ist die Ermittelung sehr einfach, wenn das hierzu notwendige Gerippe, d. i. CΩ = f, die Bildweite, und die Normale hierzu TT, die Trasse der vertikalen Bildebene, gezeichnet vorliegen; es ist dann nur die Abszisse x des Bildobjektes P aus dem Photogramme zu entnehmen und in entsprechender Richtung auf TT von Ω aus aufzutragen, wonach der erhaltene Punkt p′ mit C verbunden wird und unmittelbar mit CΩ den Horizontalwinkel α ergibt. Den Vertikalwinkel β erhält man nach Umlegung des rechtwinkligen Dreiecks Cpp′ um die Gerade Cp′ in die Zeichenebene: hierbei wird auf die Senkrechte zu Cp′ in p′ die Bildordinate y aufgetragen und der umgelegte Bildpunkt (p) erhalten. (p) mit C verbunden, gibt den Raumstrahl in der Umlegung und dieser schließt mit seiner Projektion Cp′ den Vertikalwinkel β ein. Die Genauigkeit der ermittelten Winkel hängt von der Güte des Objektes und der Schärfe der gemessenen Bildkoordinate x und y, sowie der Bildweite f ab.

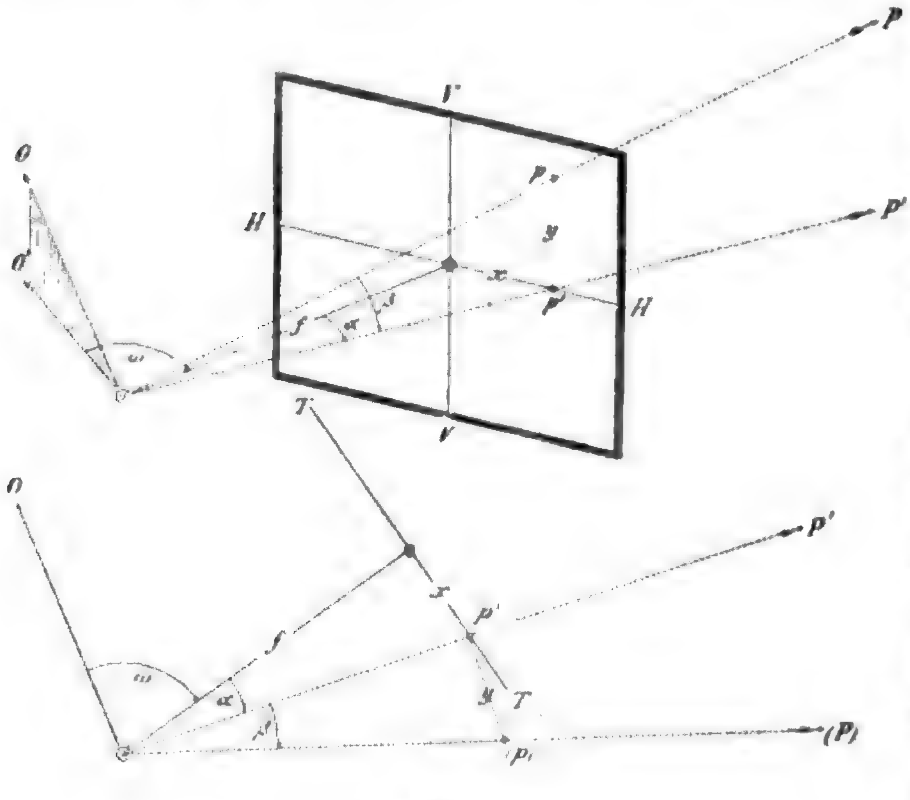


Fig. 2.

2. Die photogrammetrische Aufnahme.

2a) Festlegung eines

Digitized by Google

Raumobjektes von zwei Stationen aus. Man wählt eine Standlinie, an deren Endpunkten S_1 und S_2 die beiden Stationen so gelegen sein müssen, daß von diesen aus das Objekt in seiner ganzen Ausdehnung übersehen und photographiert werden kann (Fig. 3).

Es wird die Basis $S_1 S_2 = b$ gemessen und der Höhenunterschied H bestimmt, wenn diese Größen nicht schon aus einer vorhergehenden Arbeit bekannt sind.

α) **Rechnerische Lösung.** Es sind die Größen b, ω_1, ω_2 und f gegeben und die Bildkoordinaten auf den Bildebenen in S_1 und S_2 mit x_1, y_1 und x_2, y_2, ausgemessen, dann hat man nach den Gleichungen 1):

$$\left.\begin{array}{l} \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{x_1}{f} \\ \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + f^2}} = \frac{y_1}{f} \cos \alpha_1 = \frac{y_1}{x_1} \sin \alpha_1 \\ \text{in Station } S_1 \text{, und} \\ \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{x_2}{f} \\ \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{y_2}{\sqrt{x_2^2 + f^2}} = \frac{y_2}{f} \cos \alpha_2 = \frac{y_2}{x_2} \sin \alpha_2 \\ \text{in Station } S_2 \end{array}\right\} \quad 2)$$

Aus dem $\Delta\ S_1P'S_2$ folgt dann nach dem Sinussatze:

$$D_1 : b = \sin(\omega_2 - \alpha_2) : \sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]$$
$$D_2 : b = \sin(\omega_1 - \alpha_1) : \sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]$$

und

$$\left.\begin{array}{l} D_1 = b \dfrac{\sin(\omega_2 - \alpha_2)}{\sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]} \\ D_2 = b \dfrac{\sin(\omega_1 - \alpha_1)}{\sin[(\omega_1 + \omega_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)]} \end{array}\right\} \quad 3)$$

Denkt man sich die rechtwinkligen Dreiecke PS_1P' und PS_2P' um die Katheten S_1P' und S_2P' mittels der Ordinaten y_1 und y_2 umgelegt, so kommen durch die zweiten Katheten h_1 und h_2 die relativen Höhen des Punktes P über den Horizonten der Standpunkte zum Ausdrucke, sie lauten:

$$h_1 = D_1 \operatorname{tg} \beta_1 \quad h_2 = D_2 \operatorname{tg} \beta_2. \quad 4)$$

Bezeichnen J_1 und J_2 die Instrumenthöhen in den Stationen und H_1 und H_2 deren absolute Höhen, so bestehen nach Figur 4 für die Höhe des Punktes P, bezogen auf die Vergleichungsebene, die Relationen:

$$\left.\begin{array}{l} H' = H_1 + J_1 + h_1 \text{ aus } S_1 \\ H'' = H_2 + J_2 + h_2 \text{ aus } S_2 \end{array}\right\} \quad 5)$$

und da $H' = H''$ und $H_1 - H_2 = H$ sein muß, auch

$$H = (h_2 - h_1) + (J_2 - J_1)$$

oder

$$h_2 - h_1 = H - (J_1 - J_2) = k \quad 6)$$

d. h. die Differenz aus den relativen Höhen eines Raumpunktes in bezug auf die Horizonte beider Stationen ist konstant. Diese Höhenrelation gilt nur für identische Punkte und gibt daher eine vorzügliche Kontrolle bei der praktischen Arbeit.

β) **Graphische Lösung.** Diese ist aus Figur 3 leicht ersichtlich. Das Gerippe

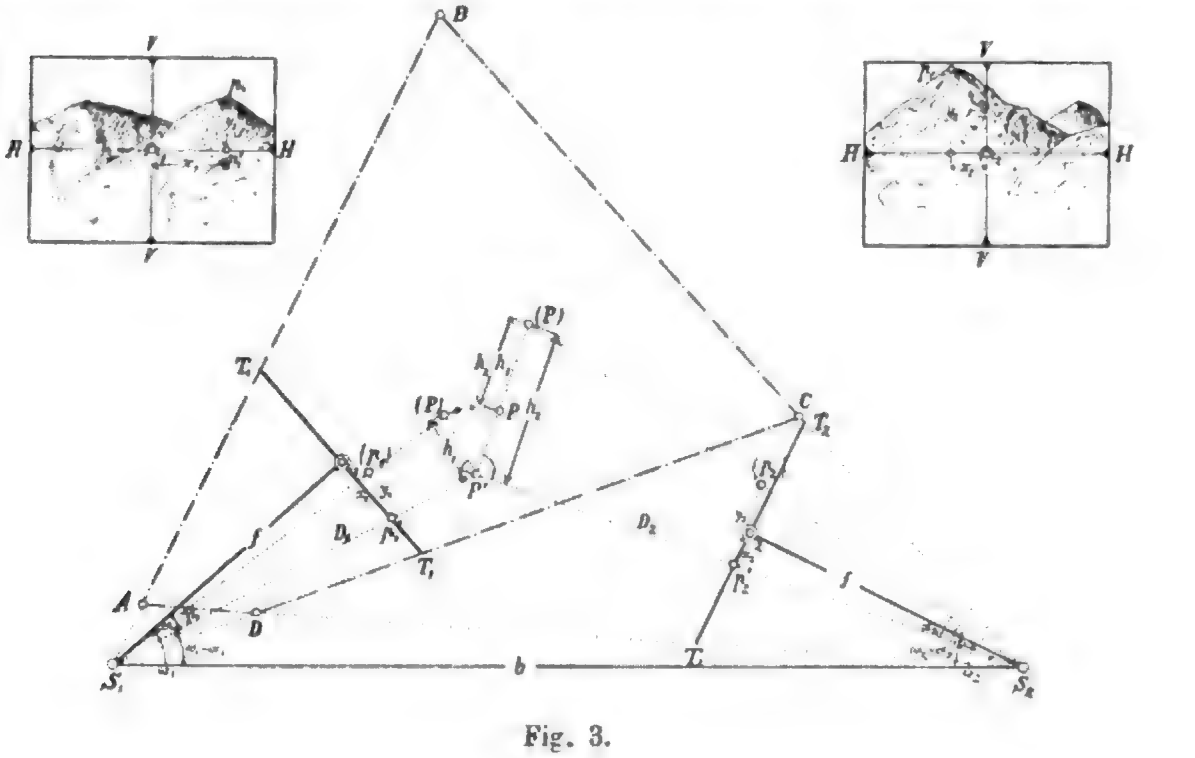


Fig. 3.

Digitized by Google

der Konstruktion für die Bestimmung aller Einzelpunkte ist durch die Standlinie $S_1S_2 = b$ und die orientierte Lage der Bilddistanzen f in den Stationen, bezw. durch die orientierten Bildtrassen T_1T_1 und T_2T_2 mittels der Orientierungswinkel ω_1 und ω_2 bestimmt, b wird in einer entsprechenden Verjüngung 1:n, f hingegen in wahrer Größe aufgetragen.

Die Bildkoordinaten x_1, y_1 und x_2, y_2 identischer Punkte werden entweder direkt auf den Negativen ausgemessen oder sie werden auf den Positiven mit einem Stechzirkel abgenommen oder mit Maßstäben gemessen.

Man trägt nun von Ω_1 aus die Abszisse x_1 in entsprechender Richtung auf und zieht S_1p_1', ebenso trägt man x_2 von Ω_2 aus auf und zieht S_2p_2'; im Schnitte beider Geraden liegt die Situation P' des Raumpunktes P. Die relativen Höhen h_1 und h_2 ergeben sich mit Benützung von y_1 und y_2 nach Umlegung der rechtwinkligen Dreiecke S_1PP' und S_2PP' um S_1P' und S_2P', die Differenz $h_2 - h_1$, welche nach Ziehung eines Bogens in der Zeichnung unmittelbar erhalten wird, muß nach Gleichung 6) konstant sein.

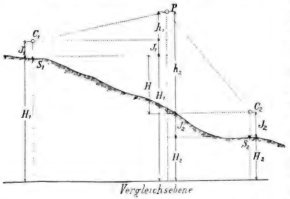


Fig. 4.

2b) Photogrammetrische Instrumente. Wie bereits erwähnt, entstehen die photogrammetrischen Instrumente durch Verbindung eines geodätischen Instrumentes zur Messung von Horizontal- bezw. Vertikalwinkeln mit einer Kamera, welche es gestattet, photographische Aufnahmen mit der erforderlichen Adjustierung auszuführen. Wir bringen die Abbildung des Universal-Phototheodoliten von Professor Schell, ausgeführt im mathematisch-mechanischen Institute von Starke und Kammerer in Wien (Fig. 5). Er gestattet es, photogrammetrische Aufnahmen bei vertikaler und geneigter Lage der Bildebene auszuführen und es kann auch die Orientierung und die Bestimmung der perspektivischen Konstanten nebst allen Justierungen mit großer Schärfe ausgeführt werden. Wir bemerken, daß eine große Anzahl von photogrammmetrischen Instrumenten gebaut wurde, so von Günther-Braunschweig, Heyde-Dresden, Breithaupt-Kassel usw. in Deutschland; Lechner-Müller, Rost in Wien, usw.

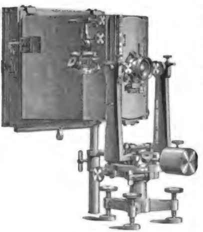


Fig. 5.

2c) Vor- und Nachteile des photogrammetrischen Verfahrens. Die Vorteile des photogrammetrischen Verfahrens bestehen im wesentlichen in der Reduktion der Feldarbeit auf ein Minimum, in der vollkommenen Schonung des Aufnahmegebietes, in der Möglichkeit, vollständig unzugängliche Punkte in die Aufnahme einzubeziehen.

Außerdem wird jeder Punkt unabhängig

Digitized by Google

von allen anderen ermittelt und die photogrammetrische Höhenbestimmung gestattet, das Resultat leicht zu kontrollieren. Die Rekonstruktion läßt sich in einem beliebigen Verjüngungsverhältnisse vornehmen und kann überdies bei Verwendung von orientierten gewöhnlichen Photographien von jedem Fachkundigen ausgeführt werden, ohne daß er je das Objekt der Aufnahme selbst gesehen hätte. Endlich hat der Konstrukteur die Wahl, unter vielen Punkten jene auszusuchen, die er im gegebenen Falle benötigt, was besonders für die Aufnahme von Geländen zu technischen Zwecken (Straßen-, Eisenbahn- und Wasserbauten) von großer Wichtigkeit ist.

Die diesen großen Vorteilen entgegenstehenden Nachteile sind die ziemlich bedeutende Umständlichkeit der Rekonstruktionsarbeiten, die mäßige Genauigkeit bei der Benützung gewöhnlicher photogrammetrischer Instrumente und vor allem die Schwierigkeit der Auffindung identischer Punkte auf den Photogrammen, welcher Uebelstand aber durch das später zu erörternde stereophotogrammetrische Verfahren wesentlich verringert werden kann.

2d) Verwendung der photogrammetrischen Aufnahmen. Allgemein verwendbar ist die Photogrammetrie allerdings nicht. Es wäre widersinnig, sich ihrer zu bedienen, wo mit den alten geodätischen Methoden rascher und billiger das Auslangen gefunden werden kann; aber eben dort, wo diese versagen, tritt die Photogrammetrie ergänzend in die Bresche. Ein kurzer Ueberblick soll zeigen, wie ausgedehnt das Verwendungsgebiet ist, welches sich die Photogrammetrie in der Praxis und zu wissenschaftlichen Zwecken bereits erobert hat.

α) Topographie und Trassierungsarbeiten. Die Anwendung der alten Methoden war in schwer zugänglichem Terrain, in hochalpinem Terrain, an steilen und felsigen Flußgestaden oft mit nahezu unüberwindlichen Hindernissen verbunden. Die Photogrammetrie hat solche Aufnahmen wesentlich erleichtert und in vielen Fällen geradezu erst ermöglicht. Bei der Erbauung der Jungfraubahn wurde sie bereits in ausgedehntem Maße und mit vollem Erfolge angewendet, ebenso bei zahlreichen Wildbachverbauungen und Trassierungsarbeiten in der Schweiz, in den österreichischen Alpenländern, in Rußland usw.

Was die Photogrammetrie im Dienste der topographischen Aufnahme im gebirgigen und Felsterrain zu leisten vermag, zeigen die Arbeiten Paganinis und des Barons v. Hübl in den Militärgeographischen Instituten von Italien und Oesterreich, sowie die glänzenden Aufnahmen Devilles zu Kanada im Felsengebirge Nordamerikas.

β) Architektur. Die Photogrammetrie im Vereine mit der Photographie ist berufen, die Schaffung von Archiven zu ermöglichen, in denen künstlerisch oder historisch wichtige Denkmäler und architektonische Objekte der Nachwelt in Bild und Maß erhalten werden können. In Preußen besteht bereits seit dem Jahre 1885 unter der Leitung Meydenbauers eine Meßbildanstalt mit einem Denkmalarchiv, in welchem nahezu 1000 Baudenkmäler Preußens photogrammetrisch festgelegt sind.

γ) Kriegswesen. Im modernen Kriege wird sich sehr oft die Notwendigkeit ergeben, irgendein Gelände äußerst rasch aufzunehmen um eine künftige Aktion nach dem rekonstruierten Situationsplane einzurichten. Die Möglichkeit der Verwertung der Photogrammetrie im Seekampfe wurde im letzten russisch-japanischen Kriege erwiesen, wo die leichten und glänzenden Erfolge der Japaner in der Meerenge von Tsu sima der Verwertung dieser neuen Methode zuzuschreiben waren. Auch die Ballonphotogrammetrie wird für militärische Zwecke von hoher Bedeutung sein.

δ) Wissenschaftliche Zwecke. Der Vorteil, daß bei photogrammetrisch festzustellenden Punkten jede Signalisierung entfallen kann, macht die Photogrammetrie besonders in der Meteorologie und Astronomie mit großem Nutzen verwendbar. Das ganze Problem der Wolkenmessung: die Ermittelung der Höhe, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und teilweise auch Mächtigkeit der Wolken kann auf photogrammetrischem Wege durchgeführt werden und es ist tatsächlich auf Grund einer internationalen Vereinbarung im Verlaufe des Jahres 1897 in 18 über die ganze Erde verteilten Stationen einer Reihe systematischer photogrammetrischer Wolkenaufnahmen gemacht worden. In der Astronomie spielt die photogrammetrische Winkelmessung bei Auswertung von Sonnenaufnahmen, bei Aufnahmen einer totalen oder partiellen Sonnenfinsternis, bei Venusdurchgängen und bei Auffindung neuer Gestirne eine große Rolle. Auch geographische Ortsbestimmungen, die Ermittelung der Polhöhe und der geographischen Länge lassen sich auf photogrammetrischem Wege durchführen. Die größte Errungenschaft der Himmelsphotogrammetrie ist aber eine förmliche Inventarisierung des bekannten Bestandes an Himmelskörpern.

Die Eigenheit der photogrammetrischen Methode kommt auch dem Archäologen zustatten, der oft die Maße des untersuchten Objektes zu seinen Forschungen gebraucht, ohne in der Lage zu sein, diese durch direkte Messungen zu erlangen, wie dies beispielsweise bei der Aufnahme eines Heiligtums aus der

Digitized by Google

ersten Zeit des Islams, der Freitag-Moschee in Shiras, durch **Stolze** der Fall war.

Für den Polarforscher und den geographischen Forschungsreisenden überhaupt ist die Photogrammetrie ein geradezu unentbehrliches Hilfsmittel, der Geologe kann durch ihre Verwendung Aufklärung erhalten über die Neigung von Schichten und ihren Verlauf, sowie über andere Phänomene, die durch metrische Relationen zum Ausdrucke kommen.

Die Photogrammetrie bietet letzterem auch ein bequemes Mittel zum Studium des Gletscherphänomens und ermöglicht es ihm, die Veränderungen, die im Laufe der Zeit auf der Erdoberfläche stattfinden, dem Maße nach festzuhalten. Von Wichtigkeit ist dies in Gebieten, wo sich in den oberen Schichten der Erdkruste Hohlräume befinden und in Bergwerksterrain, wo durch Stollen und Schächte Verbruch des Gebirges und Bodensenkungen stattfinden können.

Durch die großen Fortschritte auf allen Gebieten der Optik, Photographie und Elektrotechnik, durch die Entdeckung der Röntgen- und Bequerelstrahlen, durch die umwälzenden Versuche **Ramsays** ist es heute möglich geworden, für das Auge verborgene Vorgänge in der Natur auf der photographischen Platte festzuhalten, so daß wir mit Fug und Recht von einer Photographie des Unsichtbaren sprechen können. Hierher gehören die photogrammetrischen Aufnahmen der Verdichtungen und Verdünnungen der atmosphärischen Luft um ein im Fluge befindliches Geschoß, ferner die von Schallwellen und ihrer Interferenz (durch **Mach**, **Cranz** u. a.).

Zum Studium verschiedener Bewegungen hat man die unter dem Namen Kinematographie populäre Chronophotographie mit der Photogrammetrie verbunden. F. **Steiner** in Prag studierte auf diesem Wege die Schwingungen einer eisernen Brücke, die Bahn beweglicher Punkte einer Maschine usw. Der deutsche Forscher O. **Fischer** hat den Gang eines Mannes in 31 Phasen photogrammetrisch festgelegt und so war es möglich, für die von den Brüdern **Weber** begründete Theorie der menschlichen Gehwerkzeuge sachliche Grundlagen zu schaffen.

3. **Die Stereophotogrammetrie.** 3a) Theorie der Stereophotogrammetrie. Die Schwierigkeit der Auffindung identischer Punkte in den Photogrammen läßt sich in einem besonderen Falle wesentlich verringern. Wenn die Orientierungswinkel in den beiden Stationen $\omega_1 = \omega_2 = 90^0$ gemacht werden, fallen bei der Aufnahme die Bildebenen, die lichtempfindlichen Platten zusammen in eine vertikale Ebene. Diesen besonderen Fall bezeichnen wir als Stereophotogrammetrie und er bietet durch die stereoskopische Wirkung der gewonnenen Photogramme, die in einem stereoskopischen Apparate (Telestereoskop, Stereokomparator) zu einem plastischen Bilde verschmelzen und bequem beobachtet und ausgemessen werden können, wesentliche Vorteile. Bezeichnen wir mit a den Augenabstand und mit B die Basis der stereophotogrammetrischen Aufnahme, so erscheinen im Stereoskop sämtliche Gegenstände im Verhältnisse $\frac{a}{B}$ verkleinert, d. h. der Anblick des stereoskopischen Bildes macht denselben Eindruck, als wenn man ein in diesem Verhältnisse hergestelltes Modell des Objektes mit unbewaffnetem Auge betrachten würde.

Wenn man auf dem linken Stereophotogramme einen Punkt weiß markiert, so kann bei der Betrachtung im Stereoskope sehr bequem und sicher mit einer Bleistiftspitze oder mit einer Nadel der Punkt auf dem rechten Bilde festgelegt werden, der dem angenommenen Punkte auf dem linken Bilde entspricht. Nach Markierung dieses korrespondierenden Punktes kann die Ausmessung der Bildkoordinaten vorgenommen werden. Seien diese x_1, y_1 und x_2, y_2, ferner B der Abstand der beiden photogrammetrischen Stationen, so ergibt sich für die ebenen Koordinaten des Punktes P im Raume sowie die Höhenordinate durch leichte Rechnung:

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{B}{x_1 - x_2}\, x_1 = \frac{B}{p}\, x_1 \\ Y &= \frac{B}{x_1 - x_2}\, f = \frac{B}{p}\, y_1 \\ H = Z &= \frac{B}{x_1 - x_2}\, y_1 = \frac{B}{p}\, y_1 \end{aligned}\right\} \qquad 7)$$

Die Abszissendifferenz $x_1 - x_2 = p$ wird die stereoskopische Parallaxe (Horizontalparallaxe) genannt (Fig. 6).

Obwohl die oben angedeutete stereoskopische Auffindung identischer Punkte auf den beiden Stereophotogrammen verhältnismäßig leicht erfolgen kann, ist es gelungen, auch noch diese Arbeit zu ersparen.

3b) Prinzip der wandernden Marke. Durch einen auf dem Prinzipe des stereoskopischen Sehens beruhenden Apparat ist es möglich, die Meßoperationen auf den Photogrammen auf die lineare Ausmessung der beiden Koordinaten x_1 und y_1 des linken Bildes, sowie auf die unmittelbare Ermittelung der stereoskopischen Parallaxe p zu beschränken. Diese Ermittelung erfolgt im Stereoskope selbst durch Anwendung zweier beweglicher Zeiger, welche sich zu einer im Raume schwebenden Marke kombinieren. Diese schwebende Marke wandert nach gegenseitiger, mikrometrischer Verstellung der beiden Zeiger frei im Raume des plastischen, mikroskopischen Bildes und kann

auf einen beliebigen Punkt des stereoskopisch betrachteten Objektes eingestellt werden.

Um das Prinzip der wandernden Marke zu verstehen, denken wir uns in einem Stereoskope in der Ebene der Glasbilder (Fig. 7) im Augenabstande b zwei Marken m_1 und m_2, die genau mit den Fernpunkten zusammenfallen, es wird dann das ihnen entsprechende stereoskopisch gesehene Raumbild M in unendlicher Entfernung in der Richtung der Fernpunkte erscheinen.

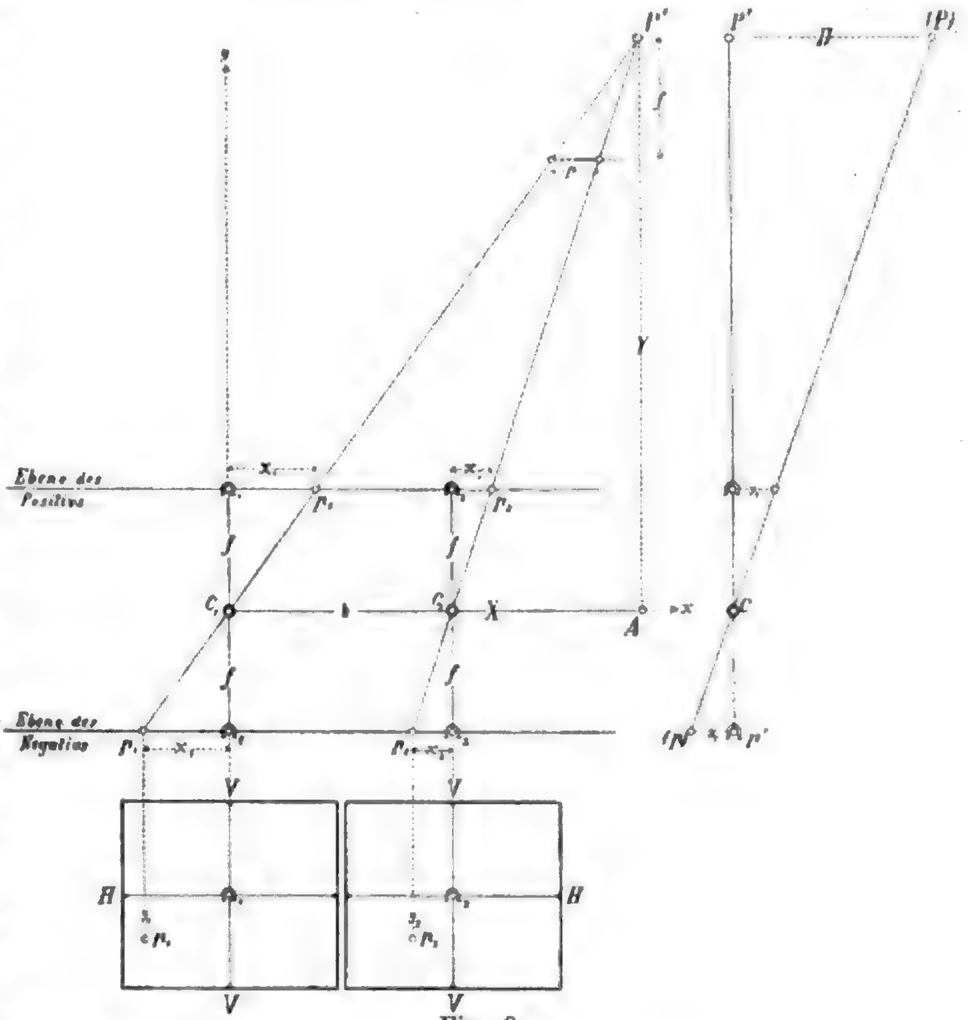


Fig. 6.

Stellen wir uns vor, daß die linke Marke m_1 mit einem markanten Punkte P sich decke und setzen wir die rechte Marke m_2 in der Richtung gegen die linke Marke m_1 in Bewegung, so wird bei stereoskopischer Betrachtung ein Näherrücken des scheinbaren Raumbildes aus der unendlichen Entfernung in der Blickrichtung des linken Auges bewirkt und das scheinbare Raummarkenbild M_1 muß bei Fortsetzung der Bewegung auch durch den Punkt P durchgehen.

In dem Augenblicke, wo m_2 nach p gelangt, muß das Raumbild der Marke in die gleiche, scheinbare Entfernung mit dem Raumbilde des Punktes P gebracht worden sein. Die lineare Verschiebung der rechten Marke, d. i. $\overline{m_2 p}$ stellt die stereoskopische Parallaxe vor, diese kann mit einer Mikrometerschraube leicht bestimmt werden.

Auf dem vorstehend entwickelten Prinzipe beruhen die stereoskopischen Distanzmesser, denn aus den zwei ähnlichen Dreiecken C_1C_2P und C_2m_2p folgt die Proportion:

$$D:b = f:p$$

und hieraus

$$D = \frac{b}{p} f \qquad 8)$$

als Distanzgleichung, worin b den Augenabstand, f die Entfernung der Markenebene vom Auge, p die stereoskopische Parallaxe

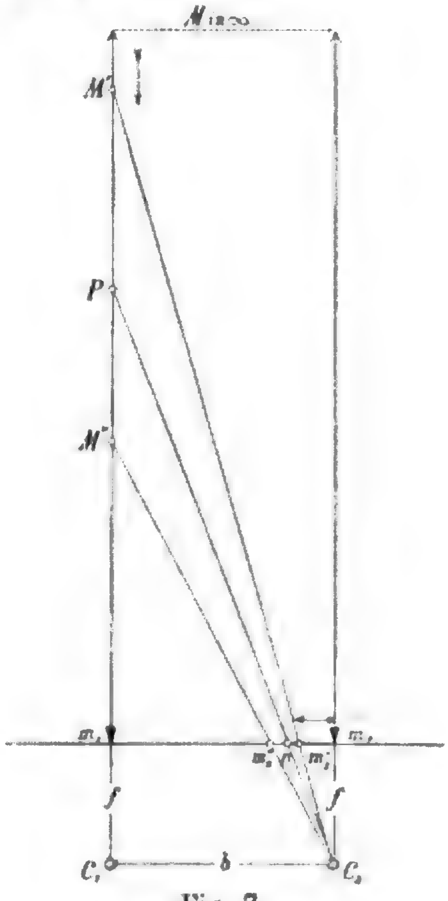


Fig. 7.

Digitized by Google

und D den Abstand des Punktes vom linken Auge bedeuten.

3c) Stereophotogrammetrische Instrumente. Wir bringen die Abbildungen dreier stereophotogrammetrischer Instrumente, welche das Carl Zeiß-Werk in Jena liefert.

α) Der Stereophototheodolit von Pulfrich (Fig. 8) ist speziell für photogrammetrische Aufnahmen gebaut; er ist mit allen Vorrichtungen ausgestattet, die erforderlich sind, um die Hauptbedingungen der Stereophotogrammetrie zu erfüllen, welche in erster Linie darin besteht, daß sich die Bildebenen beider Standpunkte in derselben Vertikalebene befinden.

β) Der Stereokomparator (Fig. 9) wurde ebenfalls von Pulfrich konstruiert und zwar mit Benützung des Prinzipes der wandernden Marke. Die besonderen Einrichtungen des Instrumentes ermöglichen es, die Koordinaten des linken Bildes x_1, y_1, sowie die stereoskopische Parallaxe $x_1 - x_2 = p$ mit großer Schärfe auszumessen.

Im Stereokomparator sehen wir ein Modell der aufgenommenen Objekte (Landschaft usw.) vor uns, ein Miniaturbild, an dem jederzeit bequem im Zimmer Studien

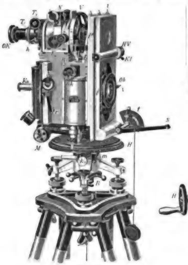


Fig. 8.

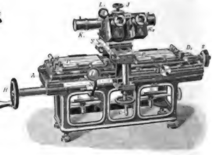


Fig. 9.

und die erforderlichen Messungen ausgeführt werden können.

γ) Der Stereoautograph des Hauptmannes v. Orel (Fig. 10) stellt eine glückliche Kombination eines Pulfrichschen Stereokomparators mit einem Kartierungsapparate vor. Die Einrichtungen des Stereoautographen gestatten es, nach ausgeführter Einstellung eines Punktes im Komparator durch die Position eines Pikierstiftes die Situation des betreffenden Punktes zu registrieren und seine Höhenkote unmittelbar anzugeben. An der Parallaxenschraube werden keine Lesungen gemacht; der Beobachter vermag auf dem im Komparator sich bieten-

Fig. 10.

Digitized by Google

den Terrainmodelle, die Marke in der Schichtenlinie zu führen und der Apparat zeichnet automatisch ihre horizontale Projektion. Der Stereoautograph gibt somit die Situation und Höhe und liefert auch durch Schichtenlinien unmittelbar einen Schichtenplan.

3d) Vorteile der Stereophotogrammetrie. Eine Reihe unschätzbarer Vorteile zeichnen die Stereophotogrammetrie Pulfrichs aus:

α) Das mühsame Punktidentifizieren entfällt, die schwebende Marke des Stereokomparators läßt sich bequem auf einen beliebigen Punkt des plastischen Raumbildes einstellen.

β) Die meist kürzeren Grundlinien der Stereophotogrammetrie bieten ein viel reichhaltigeres Aufnahmefeld, als dies bei der gewöhnlichen Photogrammetrie der Fall war.

γ) Die Stereophotogrammetrie leidet nicht so sehr an Beschränkungen in ihrer Verwendung wie die alte Photogrammetrie; sie ist im Berg- und Hügellande und sogar in bewaldeten Gegenden verwertbar.

δ) An die Technik der photographischen, Bilder stellt die Stereophotogrammetrie keine hohen Forderungen: im Stereoskope erscheinen bekanntlich auch flaue und harte, in den Schatten nur wenig detaillierte und ungünstig beleuchtete Bilder im tadellosen Relief.

ε) Die flachen Bilder der Photogrammetrie werden durch Raumgebilde im Stereokomparator ersetzt.

Die vorstehenden eminenten Vorteile sichern der Stereophotogrammetrie eine ungeahnte Anwendungsfähigkeit.

Literatur. *Archiv für Photogrammetrie, I., II. und III. Band, Wien 1908 bis 1912, redigiert von E. Doležal.* — **Deville**, *Photographic Surveying, Ottawa 1905.* — **E. Doležal**, *Die Anwendung der Photographie in der praktischen Meßkunst. Halle a. S. 1896.* — **Finsterwalder**, *„Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie" in „Jahresberichte der Deutschen Mathematikervereinigung". Leipzig 1898.* — **Flemer**, *An elementary treatise on Phototopographic Methods and Instruments. New York 1906.* — **v. Hübl**, *„Die photogrammetische Terrainaufnahme" in den „Mitteilungen des k. und k. Militärgeographischen Institutes". Wien 1899.* — **Derselbe**, *„Die stereophotogrammetrische Terrainaufnahme". Ebendaselbst. Wien 1903.* — **Koppe**, *Die Photogrammetrie oder Bildmeßkunst. Weimar 1899.* — **Laussedat**, *Recherches sur les instruments, les méthodes et les dessins topographiques. Paris 1898 bis 1903.* — **Meydenbauer**, *Das photographische Aufnehmen zu wissenschaftlichen Zwecken. Berlin 1892.* — **Derselbe**, *Handbuch der Meßbildkunst, Halle 1912.* — **v. Orel**, *„Der Stereoautograph als Mittel zur automatischen Verwertung von Komparatordaten" in den „Mitteilungen des k. und k. Militärgeographischen Institutes in Wien. 1911.* — **Paganini**, *La Fotogrammetria. Milano 1900.* — **Pulfrich**, *Eine Reihe von Aufsätzen über Stereophotogrammetrie in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde". Berlin 1903 bis 1912.* — **Scheimpflug**, *„Die Herstellung von Karten und Plänen auf photographischem Wege" in den „Sitzungsber. der Akad. d. Wissenschaften". Wien 1906.* — **Schell**, *„Der Phototheodolit von Prof. Dr. A. Schell" in Eder's Handbuch der Photographie, Bd. I. Halle a. S. 1892.* — **Schiffner**, *Die photographische Meßkunst. Halle a. S. 1892.* — **Steiner**, *Die Photographie im Dienste des Ingenieurs. Wien 1891 bis 1894.* — **Thiele**, *Photogrammetrie nach ihrem gegenwärtigen Stande, 3 Bände. Petersburg 1908 bis 1910.* — **Vallot**, *Applications de la Photographie aux levés topographiques en hautes montagnes, Paris 1907.*

E. Doležal.

Photometrie.

1. Einleitung. 2. Photometrische Grundsätze. 3. Prinzip der Helligkeitsmessungen. 4. Lichteinheiten: a) Lichtstärke, Einheitslampen. b) Lichtstrom. c) Lichtmenge. d) Beleuchtung. e) Flächenhelligkeit. f) Belichtung. 5. Abstandsphotometrie. Photometer von: a) Rumford-Lambert. b) Ritchie. c) Bunsen. d) Lummer-Brodhun. e) L. Weber. f) Lummer. 6. Meßbare Abschwächung der einen Lichtquelle durch andere Mittel als durch Entfernungsänderung: a) Blenden. b) Absorbierende Mittel. c) Rotierende Sektoren, d) Polarisatoren, Photometer von Wild. 7. Photometrieren verschiedenfarbiger Lichtquellen, Flimmerphotometrie. 8. Spektrophotometrie. Spektralphotometer von Vierordt, König-Martens und Grünbaum. 9. Hinweis auf chemische, photoelektrische, thermoelektrische, Selen-Photometer. 10. Die Bestimmung von mittleren Lichtstärken: a) Definitionen. b) Berechnung der mittleren räumlichen Lichtstärke und der hemisphärischen Lichtstärken. α) Rechnerisches Verfahren. β) Graphisches Verfahren. c) Bestimmung der mittleren räumlichen Lichtstärke und der hemisphärischen Lichtstärken durch Messung. d) Kugelphotometer von Ulbricht.

1. Einleitung. Lichtempfindungen kommen durch Reizungen der Augensehnerven zustande. Gilt es daher über die Helligkeit von Lichtquellen zu urteilen, so sind unsere Augen allein die berufenen Richter. Das menschliche Auge ist jedoch ohne besondere Hilfsmittel nicht imstande, das Verhältnis der Helligkeit zweier Lichtquellen direkt zu erkennen, es vermag nicht, auch nur annähernd genau, anzugeben, wievielmal eine Fläche stärker beleuchtet ist als eine zweite. Dagegen besitzt das menschliche Auge eine verhältnismäßig große Empfindlichkeit gegen Helligkeits- und Kontrastunterschiede, eine Fähigkeit, die es ermöglicht, mit dem Auge vergleichende Messungen auszuführen. Um diese Fähigkeit auszunützen, hat man

Digitized by Google

Hilfsapparate konstruiert, die dem Auge ein sichereres Urteil ermöglichen, sogenannte „Photometer".

2. Photometrische Grundsätze. Die von einem Lichtpunkt, d. h. einer unendlich kleinen leuchtenden Fläche, ausgehende Gesamtlichtmenge breitet sich in einem nach allen Richtungen hin gleich beschaffenen (isotropen) Medium (z. B. Luft) nach allen Seiten hin gleich schnell, also auf konzentrischen Kugelflächen von immer größerem Radius, aus. Bezeichnen wir die gesamte, nach allen Richtungen ausgestrahlte Lichtmenge mit M und erinnern wir uns, daß die Oberfläche einer Kugel, mit r als Radius, $4r^2\pi$ ist, so erhält eine Fläche von 1 Quadratzentimeter in der Entfernung 1 von dem leuchtenden Punkt die Lichtmenge (Lichtstärke)

$$J = \frac{M}{4\pi}$$

und in der Entfernung r von der Lichtquelle die Lichtmenge (Beleuchtungsstärke)

$$E = \frac{M}{4\pi r^2}$$

senkrecht zugestrahlt. Man hat somit

$$J : E = \frac{M}{4\pi} : \frac{M}{4r^2\pi} \text{ oder}$$

$$E = \frac{J}{r^2}.$$

Bei der Ableitung dieser Beziehung wurde vorausgesetzt, daß die Beleuchtung selbst eine senkrechte ist, daß also die Fläche AB (Fig. 1) von der Größe a senkrecht von

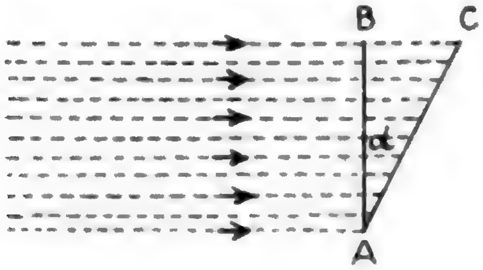


Fig. 1.

den Strahlen getroffen wird. Betrachten wir dagegen eine beliebige Fläche AC von der Größe b, die gegen AB unter dem (Einfalls-) Winkel α geneigt ist, und die das ganze auf a fallende Lichtstrahlenbündel aufnimmt, so verteilt sich die Lichtmenge auf die größere Fläche $b = \frac{a}{\cos\alpha}$. Auf 1 Quadratzentimeter von AC fällt somit eine entsprechend kleinere Menge von Lichtstrahlen als auf 1 qcm von AB. Die Beleuchtung für die schiefe Fläche ist somit

$$E = \frac{J\cos\alpha}{r^2}$$

Ist der Einfallswinkel $\alpha = o$, d. h. fallen die Lichtstrahlen senkrecht auf die Fläche, so wird $\cos\alpha = 1$, und die Formel geht in die früher abgeleitete $E = J/r^2$ wieder über. Somit gilt der Satz:

„Die Beleuchtungsstärke ist umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung von der punktförmigen Lichtquelle und proportional dem Kosinus des Einfallswinkels der Lichtstrahlen."

Auf diesem Gesetz beruht die „Photometrie", die Vergleichung der Lichtstärken verschiedener Lichtquellen, wie im Abschnitt 3 dargelegt wird.

Darf man die Dimensionen der Lichtquellen nicht außer acht lassen, so hat man die Oberfläche in Flächenelemente zu zerlegen und jedes der letzteren als Lichtquelle anzusehen. Die ausgestrahlte Lichtmenge hängt in diesem Falle außer von der Größe der Fläche noch von ihrer Neigung gegen die Lichtstrahlen ab. Für die Lichtmenge dL, welche ein Flächenelement ds einem anderen Flächenelement dS zustrahlt, gilt dann

$$dL = \frac{i.ds.dS.\cos\vartheta.\cos\Theta}{r^2}$$

Dabei bezeichnet r die Entfernung der beiden Flächenelemente voneinander und ϑ, Θ die Neigungen der Normalen von ds und dS gegen ihre Verbindungslinie. i ist diejenige Lichtmenge, welche die Flächeneinheit einer um die Längeneinheit entfernten anderen Flächeneinheit zustrahlt, falls beide Flächenstücke senkrecht zu ihrer Verbindungsstrecke liegen.

3. Prinzip der Helligkeitsmessungen. Wir betrachten eine Fläche von 1 qcm, welche von zwei Lichtquellen in den Entfernungen r_1 und r_2 beleuchtet wird. Erscheint die Fläche von beiden Lichtquellen gleich hell erleuchtet, dann gilt:

$$\frac{J_1 \cos\alpha_1}{r_1^2} = \frac{J_2 \cos\alpha_2}{r_2^2}$$

und falls die Winkel α_1 und α_2 gleich sind, d. h. falls die beleuchtete Fläche, „der Schirm", gegen r_1 und r_2 die gleiche Neigung hat:

$$J_1 : J_2 = r_1^2 : r_2^2$$

d. h. wird ein und dieselbe Fläche von zwei Lichtquellen gleichstark beleuchtet, so verhalten sich die Lichtstärken der Lichtquellen direkt wie die Quadrate der Abstände der Fläche von den Lichtquellen.

Damit ist ein einfaches Mittel gegeben, um Lichtstärken relativ zu vergleichen: Unter Zuhilfenahme eines Photometers läßt man zwei Lichtquellen in solchen Entfernungen r_1 und r_2 einen Schirm (bei gleichem Einfallswinkel α) beleuchten, daß die Beleuchtungsstärke auf ihm gleich erscheint. Man braucht dann nur r_1 und r_2 zu messen, um das Verhältnis der Lichtstärken beider Lichtquellen zu erhalten.

Ein Photometer besteht somit im all-

Digitized by Google

gemeinen aus zwei Teilen, nämlich aus dem eigentlichen Photometer oder „Photometeraufsatz“, einer Vorrichtung, die dem Auge den Vergleich möglichst erleichtert und andererseits aus einer Einrichtung zur meßbaren Schwächung der Helligkeit. Diese meßbare Schwächung kann auf verschiedenerlei Weise erzielt werden, insbesondere durch Aenderung der Entfernung der Lichtquelle („Abstandsphotometrie“). Man bedient sich hierzu meist einer geraden „Photometerbank“, einer 2,5 m oder 3 m langen Holzleiste, welche an einer Seite eine Teilung besitzt. Auf derselben sind Klötze verschiebbar, welche Säulen tragen, an denen die Stiele von Tischen, Lampen und dergleichen mittels Schrauben in verschiedenen Höhen befestigt werden können. Die Klötze haben einen als Index dienenden Strich. Für Präzisionsmessungen benutzt man an Stelle der Holzleisten mit Teilung versehene Stahlrohre, die auf einem gußeisernen, in der Mitte mit einer Stütze versehenen Untergestell gelagert sind. Auf den Stahlrohren lassen sich mittels Zahnstange und Trieb Wagen bewegen, welche zur Aufnahme der Lichtquellen und des Photometeraufsatzes dienen.

4. Lichteinheiten. 4a) Lichtstärke. Da man die Lichtstärke in absolutem Maße nicht messen kann, so wählt man willkürlich eine „Lichteinheit“, d. h. eine Lichtquelle, auf deren Leuchtkraft diejenige aller anderen Lichtquellen bezogen wird. In Deutschland ist ganz allgemein die mit großer Genauigkeit reproduzierbare „Hefnerkerze“ (HK) mit einer Flammenhöhe von 40 mm als Lichteinheit angenommen. In Figur 2 ist die zur Darstellung der Hefner-

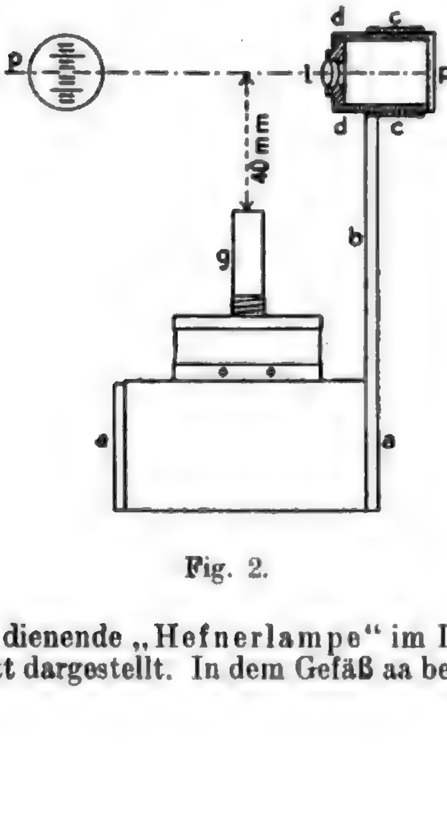


Fig. 2.

kerze dienende „Hefnerlampe“ im Durchschnitt dargestellt. In dem Gefäß aa befindet sich Amylacetat (Essigsäure-Isoamyläther $C_7H_{14}O_2$, Siedepunkt zwischen 138° und 140°), in das ein durch das Röhrchen g hindurchführender Docht eintaucht. Letzterer kann durch eine Schraube mit Trieb gehoben und gesenkt werden. Zum Einstellen der Flamme auf die geforderte Höhe von 40 mm wird durch eine in der Hülse dd befestigte Linse l ein Bild der Flammenspitze auf einer mit Skala (vgl. die linke Nebenfigur) versehenen matten Glasscheibe p entworfen. Man verschiebt die Hülse dd in dem Rohr cc so lange, bis die Flammenspitze scharf erscheint.

Die Lampe ist nach v. Hefner-Alteneck benannt, der im Jahre 1884 als Lichteinheit vorschlug „die Leuchtkraft einer in ruhig stehender, reiner atmosphärischer Luft frei brennenden Flamme, welche aus dem Querschnitt eines massiven, mit Amylacetat gesättigten Dochtes aufsteigt, der ein kreisrundes Dochtröhrchen aus Neusilber von 8 mm innerem und 8,2 mm äußerem Durchmesser und 25 mm freistehender Länge vollkommen ausfüllt bei einer Flammenhöhe von 40 mm vom Rande des Dochtröhrchens aus bis zur Flammenspitze und frühestens 10 Minuten nach dem Anzünden gemessen“. Als normal gilt das Leuchten der HK in horizontaler Richtung. Seit Juli 1893 wird die Hefnerlampe von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg beglaubigt.

Wie sorgfältige Messungen von Liebenthal in der Reichsanstalt gezeigt haben, ist die Lichtstärke dieser Lampe insbesondere von drei Faktoren abhängig, nämlich von der Luftfeuchtigkeit, dem Luftdruck und vom Kohlensäuregehalt der Luft. Mit wachsender Feuchtigkeit (x) nimmt die Lichtstärke (y) stetig ab. Eine Verunreinigung der Luft durch Kohlensäure vermindert die Lichtstärke gleichfalls; vermehrt sich nämlich das Kohlensäurevolum (x′) in einem Kubikmeter trockener Luft um je ein Liter, so vermindert sich die Lichtstärke um 0,7%. Der Luftdruck ist nur von geringem Einfluß, einer Aenderung des Luftdruckes b um Δb entspricht eine Aenderung der Lichtstärke y um $\Delta y = 0{,}000\,11\,\Delta b$. Werden alle drei Faktoren gleichzeitig berücksichtigt, so lautet die vollständige Formel für die Lichtstärke y

$$y = 1{,}049 - 0{,}0055\,x - 0{,}0072\,(x' - 0{,}75) + 0{,}000\,11\,(b - 760).$$

y wird 1 HK für $x = 8{,}8$ Liter; $x' = 0{,}75$ Liter; $b = 760$ mm.

Die von der Reichsanstalt bei deren amtlichen Prüfungen als HK bezeichnete Lichteinheit ist somit — genau genommen — die Lichtstärke der Hefnerlampe bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 8,8 Liter auf 1 cbm trockene, kohlensäurefreie Luft, bezogen auf einen Barometerstand von 760 mm und bezogen auf sogenannte reine Luft, d. h.

Digitized by Google

auf einen Kohlensäuregehalt von 0,75 Liter auf 1 cbm trockene, kohlensäurefreie Luft.

Andere gebräuchliche Lichteinheiten sind die folgenden:

Die englische Kerze, aus Walrat (Schmelzpunkt 44°—46° C) gefertigt, soll möglichst genau $^1/_6$ Pfund (72,3 g) wiegen; der Durchmesser soll unten 22,5 mm, oben 20 mm betragen. Der Docht ist aus 3 Strängen mit je 18 Baumwollfäden geflochten. Die Lichtstärke wird in England als normal (= 1) angesehen, wenn der stündliche Verbrauch 120 grains (7,78 g) beträgt. Da die Bestimmung der Lichtstärke nach Gewichtsverbrauch ungenau ist, so wird in Deutschland die Kerze bei einer Flammenhöhe von 45 mm gemessen (= 1,14 HK).

Die Deutsche Vereinsparaffinkerze (= 1,20 HK) aus reinem Paraffin mit 55° Schmelzpunkt hat ein Gewicht von 50 g und eine zylindrische Gestalt von 20 mm Durchmesser. Der Docht, aus 24 Baumwollfäden geflochten, wiegt in trockenem Zustande 0,668 g, auf das laufende Meter gerechnet. Die Kerze wird unter Aufsicht des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern hergestellt und ist durch einen in den Docht eingelegten roten Faden von anderen Kerzen unterschieden.

Die im Jahre 1842 auf Empfehlung von *Dumas* und *Regnault* in Frankreich eingeführte *Carcellampe* wird mit gereinigtem Colzaöl (Sommerrapsöl) gespeist, welches aus einem im Lampenfuß befindlichen Behälter mittels eines durch ein Uhrwerk betriebenen Pumpwerkes zum Docht emporgeführt wird. Die Lichtstärke gilt als normal, wenn der stündliche Oelverbrauch 42 g beträgt.

Bei der von *Vernon Harcourt* 1898 konstruierten *10-Kerzen-Pentanluftgaslampe* steht ein Flüssigkeitsbehälter mit einem Argandbrenner vermittels eines Schlauches in Verbindung. Ueber dem Brenner befindet sich ein unten mit einem 42 mm hohen Glimmerfenster versehener Schornstein, dessen unterer Rand in kaltem Zustande 47 mm über dem Specksteinring des Brenners liegt. Der Brenner (äußerer Durchmesser 24 mm, innerer Durchmesser 14 mm) hat 30 Löcher, deren Durchmesser zwischen 1,25 mm und 1,5 mm liegen können. In den zu Anfang bis zu zwei Drittel mit Pentan (C_5H_{12}) gefüllten, mit zwei Hähnen versehenen Behälter tritt durch den ersten Hahn Luft ein, die sich mit Pentangas sättigt. Das schwere Pentan-Luftgas fällt sodann nach Passierung des zweiten Hahnes in den Verbindungsschlauch herab und gelangt so in den unterhalb befindlichen Brenner. Nach *Paterson* besteht zwischen der Lichtstärke y, der Feuchtigkeit x in Litern auf 1 cbm trockene, kohlensäurefreie Luft und dem Barometerstand b die Gleichung:

$$y = 10 + 0{,}066\,(10 - x) + 0{,}008\,(b - 760),$$

wenn für x = 10 Liter und b = 760 mm y = 10 gesetzt wird.

Die Viollesche Platineinheitslampe. Die in den Jahren 1884 und 1896 tagenden Elektrikerkongresse zu Paris und Genf setzten auf den Vorschlag von *Violle* als Einheit des weißen Lichtes die Lichtstärke fest, welche ein Quadratcentimeter der Oberfläche geschmolzenen Platins im Momente des Erstarrens in senkrechter Richtung besitzt. Als Einheit des farbigen Lichtes gilt die Lichtstärke des gleichfarbigen Lichtes, welches in dem weißen Platinlicht enthalten ist. Da die „Platineinheit“ unbequem groß ist (19,5—26 HK), so soll für Lichtmessungen als Grundlage die Lichtstärke einer Kerze genommen werden, welche den zwanzigsten Teil dieser so definierten Lichtstärke besitzt. Diese Kerze trägt den Namen „*Dezimalkerze*“ (bougie décimale). Eingebürgert hat sich diese Einheit durchaus noch nicht, vor allem weil die praktische Herstellung der *Violleschen* Einheit Schwierigkeiten begegnet, die man bis jetzt noch nicht hat überwinden können; *praktische* Lichteinheit ist daher die Lichtstärke der HK.

Die nachfolgende Tabelle enthält den photometrischen Vergleich zwischen der Hefnerlampe, der 10-Kerzen-Pentanlampe von *Vernon Harcourt* und der Carcellampe. Dabei bedeuten die fettgedruckten Zahlen die von der Internationalen Lichtmeßkommission in Zürich im Juli 1907 endgültig festgelegten Verhältniszahlen; die übrigen Werte sind hieraus durch Umrechnung abgeleitet. Die Angaben in Litern (l) bedeuten die als normal angenommenen Luftfeuchtigkeiten; als normaler Luftdruck gilt 760 mm. Die Kommission schätzt die Genauigkeit der von ihr angenommenen Werte auf ± 1%.

	Hefner	Harcourt	Carcel
Hefner (8,8 l)	1	$0{,}091_5$	$0{,}093_0$
Vernon Harcourt (10 l) .	**10,95**	1	**1,020**
Carcel (10 l)	**10,75**	$0{,}98_0$	1

Vergleichslampen. Die Lichtstärke der Einheitslampe ist verhältnismäßig klein, das Arbeiten mit der Lampe selbst ziemlich zeitraubend, da genaue Bedingungen eingehalten werden müssen, und der zu verwendende Brennstoff ist relativ teuer. Aus diesen Gründen bedient man sich vielfach an Stelle der Einheitslampe einer möglichst konstanten *Vergleichslampe* und vergleicht die zu messende Lampe und die Ein-

Digitized by Google

heitslampe getrennt mit dieser dritten Lampe. Als derartige Vergleichslichtquellen eignen sich besonders elektrische Kohlen- resp. Metallfadenglühlampen, die man mit Akkumulatoren speist, auf konstanter Spannung oder Stromstärke hält und nur von Zeit zu Zeit auf ihre Lichtstärke prüft. Weiterhin kommen noch Gasflammen in Betracht, welche mit Gasdruckregulator oder Hahn auf konstanter Flammenhöhe erhalten werden.

4b) Lichtstrom. Wir denken uns um einen Lichtpunkt in 1 m Abstand von demselben eine Kugel beschrieben, deren Oberfläche in Flächenstücke von je 1 qm Inhalt geteilt ist. Jedes Flächenstück empfängt dann von dem Lichtpunkt die gleiche Anzahl von Lichtstrahlen, den gleichen „Lichtstrom" (Φ). Beträgt die Lichtstärke der Lichtquelle 1 HK, so empfängt jedes Flächenstück einen Lichtstrom, den man als „1 Lumen" (Lm) bezeichnet. Der Gesamtlichtstrom einer Lichtquelle, welche nach allen Richtungen eine Lichtstärke von J Kerzen besitzt, ist demnach $4\pi J$ Lumen.

4c) Lichtmenge. Den in einer gewissen Zeit t ausgestrahlten Lichtstrom bezeichnet man als „Lichtabgabe" (Lichtmenge, Lichtleistung). Die Lichtabgabe Q ist somit das Produkt aus Lichtstrom Φ und Dauer t der Beleuchtung. Die Einheit ist die „Lumensekunde", beziehungsweise für praktische Zwecke die „Lumenstunde".

4d) Beleuchtung. Fällt von einer beliebigen Lichtquelle auf ein Flächenelement s der Lichtstrom Φ, so wird die Größe

$$E = \frac{\Phi}{s}$$

die auf s erzeugte Beleuchtung genannt; s wird in Quadratmetern gezählt. Als Einheit der Beleuchtungsstärke dient die „Meterkerze" (= 1 Lux), d. h. jene Beleuchtung, welche eine Fläche durch die senkrecht auffallenden Lichtstrahlen einer ein Meter von der Fläche entfernten Lichtquelle von einer Kerzenstärke erhält. Befindet sich z. B. eine 500 kerzige Bogenlampe L r = 10 m lotrecht über einer Straße, so ist deren Beleuchtung für jene Stelle, auf welche die Lichtstrahlen senkrecht auffallen $= \frac{J}{r^2} = \frac{500}{10^2} =$ 5 Lux. Für jene Stellen, auf welche die Strahlen schief auffallen, ist die Beleuchtung um so geringer, je schiefer die Strahlen auftreffen. Betrachten wir etwa einen Punkt P der Straße (vgl. Fig. 3), der a = 10 m

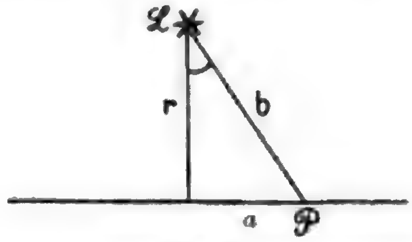


Fig. 3.

vom Fuß der Lampe und b m von der Lampe selbst entfernt ist, so ist die Beleuchtung der Horizontalebene im Punkte P: $J/b^2 \cos(r, b)$ $= \frac{J}{r^2 + a^2} \cos(r, b) = \frac{500}{100 + 100} \cos 45^\circ =$ 1,77 Lux d. h. im Punkte P ist die gleiche Helligkeit, als ob an Stelle der Lampe L 1,77 Kerzen senkrecht in der Entfernung von einem Meter auf P strahlten.

4e) Flächenhelligkeit. Unter „Flächenhelligkeit" e einer Lichtquelle versteht man das Verhältnis der Lichtstärke J zur leuchtenden Oberfläche σ. Die Einheit der Flächenhelligkeit ist vorhanden, wenn 1 Quadratzentimeter der Oberfläche in zu ihr senkrechter Richtung die Intensität einer HK besitzt. Z. B. ist die Flächenhelle einer Petroleumflamme ca. 4 HK, die des stehenden Gasglühlichtes etwa 5,5 HK.

4f) Belichtung (j). Hierunter versteht man das Produkt aus der Beleuchtung E, welcher ein Gegenstand ausgesetzt wird und der Zeitdauer der Beleuchtung. Die Einheit ist somit die „Luxsekunde".

In nachfolgender Tabelle sind sämtliche Definitionen zusammengefaßt.

Physikalische Größen	Symbol und Definitions-Gleichung	Benennung der praktischen Einheit	Zeichen
Lichtstärke	J	Hefnerkerze	HK.
Lichtstrom	$\Phi = \frac{J}{r^2} \cdot s$	Lumen	Lm.
Beleuchtung	$E = \frac{\Phi}{s} = \frac{J}{r^2}$	Lux (Meterkerze)	Lx.
Flächenhelligkeit	$e = \frac{J}{\sigma}$	Hefnerkerze pro Quadratzentimeter	—
Lichtmenge	$Q = \Phi \cdot t$	Lumensekunde bezw. Lumenstunde	—
Belichtung	$j = E \cdot t$	Luxsekunde	—

Digitized by Google

Dabei bedeutet s eine Fläche in Quadratmetern, σ eine Fläche in Quadratzentimetern; r eine Entfernung in Metern, t eine Zeit in Sekunden.

5. Abstandsphotometrie. 5a) Schattenphotometer von Rumford. Das am einfachsten herzustellende, aber auch ungenaueste Photometer ist das bekannte „Schattenphotometer" von Rumford (genauer von Lambert, dem eigentlichen Begründer der Photometrie). Es besteht aus einem weißen Schirm, vor dem ein dünner Stab O steht (Fig. 4). In einiger Entfernung

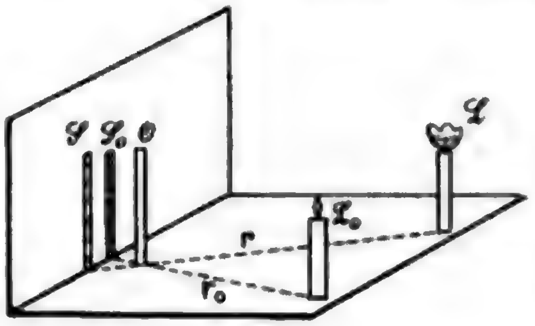


Fig. 4.

von dem Schirm stellt man zwei Lichtquellen auf, nämlich die zu untersuchende Lichtquelle L und die Normalkerze L_0, die auf der weißen Wand die Schatten S und S_0 erzeugen. Der Schirm ist dann an den schattenfreien Stellen durch beide Lampen beschienen, an der Stelle S nur durch die eine Kerze L_0, an der Stelle S_0 nur durch die Lampe L. Regelt man die Entfernungen der beiden Lichtquellen von der Wand so, daß die beiden Schatten nahe nebeneinander fallen, und gleichdunkel erscheinen, so empfängt auch die Fläche des Schirmes von beiden Lichtquellen gleiche Lichtmengen und die Lichtstärken beider Flammen verhalten sich wie die Quadrate ihrer Entfernungen (r) vom Schirme.

Das Photometer hat den Nachteil, daß es die Anwendung einer geraden mit Längenteilung versehenen Photometerbank, auf der sich die zu vergleichenden Lichtquellen, sowie das Photometergehäuse beweglich aufstellen lassen, nicht gestattet.

5b) Photometer von Ritchie. Diesen Nachteil besitzt das nunmehr zu beschreibende Photometer von Ritchie nicht. Dieses besteht aus einem inwendig geschwärzten und auf beiden Seiten offenen Kasten, der oben in der Mitte ein Rohr mit einem Okularloch O besitzt (Fig. 5). Vor die beiden seitlichen Oeffnungen des Kastens werden die zu vergleichenden Lichter L_1 und L_2 gestellt, deren Strahlen auf zwei im Kasten befindliche Spiegel AB_1 und AB_2 treffen, die unter einem Winkel von 45° gegen die Achse des Kastens eingesetzt sind. Darüber ist eine Mattglasscheibe M_1 M_2 befestigt, die von der Kante A des Spiegels in zwei Teile geteilt wird. Die Spiegel werfen die auftreffenden Lichtstrahlen senkrecht auf die Mattglasscheibe, so daß ein von oben durch das Okularloch blickender Beobachter die eine

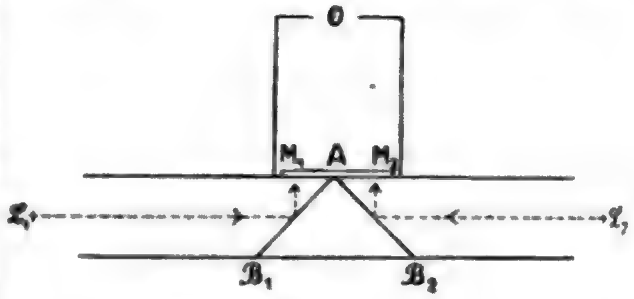


Fig. 5.

Hälfte der Scheibe von der einen Lichtquelle, die andere Hälfte von der zweiten Lichtquelle beleuchtet sieht. Nun wird die eine Lichtquelle so lange verschoben, bis die beiden Scheibenhälften gleichstark beleuchtet sind. Die Quadrate der Entfernungen der Lichter von der Mitte des Kastens geben dann die relativen Lichtstärken an.

5c) Das Bunsensche Fettfleckphotometer. Häufig benutzt wird das „Bunsensche Fettfleckphotometer", dessen wesentlichster Bestandteil ein Papierschirm ist, in dessen Mitte sich ein durchscheinender Fleck befindet. Gefettetes Papier hat die Eigenschaft, mehr Licht hindurch zu lassen als nicht gefettetes. Stellt man also ein Licht hinter das Papier, so erscheint der Fleck hell auf dunklerem Grunde, stellt man das Licht vor das Papier, so erscheint der Fleck dunkel auf hellem Grunde. Stellt man daher auf eine photometrische Bank (Fig. 6) zwei Lichtquellen L_1, L_2, zwischen die

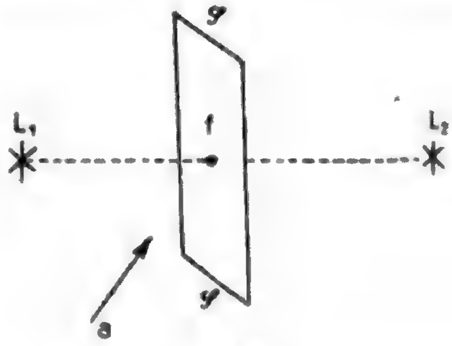


Fig. 6.

man den Schirm S S mit dem Fettfleck setzt und blickt von a nach demselben hin, so erscheint der Fleck hell oder dunkel, je nachdem der Schirm stärker von der Rückseite oder von der Vorderseite beleuchtet wird. Bei obiger Anordnung, d. h. bei konstanter Beibehaltung der Visierrichtung, läßt es sich

Digitized by Google

durch Verschiebung einer der Lichtquellen immer dahin bringen, daß der ganze Schirm wie eine gleichmäßig helle Fläche erscheint und von dem Fettfleck nichts mehr zu sehen ist. Um den Schirm von beiden Seiten her bequem beobachten zu können, bringt man denselben zwischen zwei Spiegel SS, welche miteinander einen stumpfen Winkel bilden (Fig. 7). Um Ungleichseitigkeiten

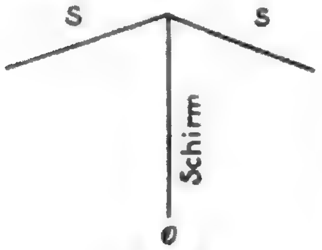


Fig. 7.

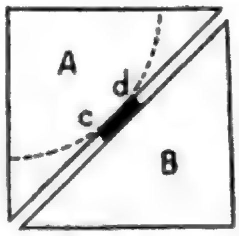


Fig. 8.

der beiden Schirmseiten zu vermeiden, vertauscht man die Lichtquellen L_1, L_2 oder legt den Schirm um, d. h. man dreht ihn um 180° so, daß diejenige Seite des Schirmes, welche vorher der Lichtquelle L_1 zugewandt war, nunmehr auf der Seite der Lichtquelle L_2 liegt.

Trotz der wesentlichen Verbesserungen, welche unter anderen Hefner-Alteneck, Hesehus, Krüss, Latschinow, Töpler an dem Instrument angebracht haben, und auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, besitzt das Bunsensche Photometer noch bedeutende Nachteile. Insbesondere tritt dadurch, daß jedes der zu vergleichenden Felder gleichzeitig Licht von beiden Lichtquellen erhält, eine Lichtvermischung ein, welche nach L. Weber die Empfindlichkeit der Einstellung beeinträchtigt. Weber kam auf Grund seiner theoretischen Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß für ein Photometer die folgenden Bedingungen erfüllt sein müssen.

1. Jedes der zu vergleichenden Felder darf nur von einer Lichtquelle beleuchtet sein.

2. Die Grenze, in der die Felder zusammenstoßen, muß möglichst scharf sein.

3. Im Moment der Gleichheit muß die Grenze vollständig verschwinden.

Lummer und Brodhun haben diesen drei Bedingungen noch die beiden folgenden hinzugefügt:

4. Die Vorrichtung soll möglichst unveränderlich sein.

5. Die Vertauschung der beiden Seiten der Vorrichtung soll die Einstellung nicht (oder doch nur wenig) ändern.

5d) Photometer von Lummer und Brodhun. Bei den beiden nunmehr zu beschreibenden Photometertypen von Lummer und Brodhun sind diese fünf Bedingungen erfüllt. Der wesentlichste Teil ist hier ein Glaswürfel (Fig. 8), der aus zwei mit ihren Hypotenusenflächen gut eben aufeinanderabgeschliffenen rechtwinkeligen Glasprismen A und B besteht. Nachdem an der Hypotenusenfläche des einen Prismas A durch Anschleifen einer Kugelfläche die obere Glasschicht bis auf eine scharf begrenzte Kreisfläche cd entfernt worden ist, wird dieses Prisma A so fest gegen die gleichfalls ebene Hypotenusenfläche von B gepreßt, daß die beiden Prismen bei cd eine einzige zusammenhängende Glasmasse bilden.

Zur Erläuterung des Prinzips diene das Folgende: Bedeuten C und D zwei diffus leuchtende Flächen (Fig. 9), so gehen die

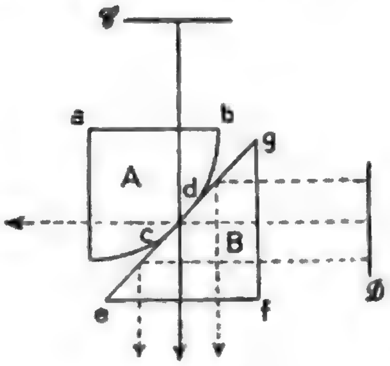


Fig. 9.

von C kommenden, auf die Kathetenfläche ab des Prismas A fallenden und nach cd weitergehenden Lichtstrahlen ungebrochen und ungeschwächt in das Prisma B über und treten hier durch die Kathetenfläche ef parallel zur ursprünglichen Richtung aus. Das von D kommende, auf die Kathetenfläche gf des Prismas B fallende Licht geht dagegen nur an der Stelle cd ungebrochen durch den Prismenwürfel hindurch; an den Stellen ce und dg dagegen wird das auf fg senkrecht oder nahezu senkrecht auffallende Licht total reflektiert (siehe Fig. 9). Die Fläche ecdg ist somit dem Bunsenschen Fettfleckpapier vergleichbar. Der „gefetteten Stelle" entspricht hier die Fläche cd, die alles auffallende Licht hindurchläßt und nichts reflektiert, während der nicht gefetteten Papierfläche die Felder ec und dg entsprechen, die alles Licht total reflektieren und nichts hindurchlassen.

Figur 10 gibt einen Querschnitt des Instruments. Zwischen den beiden zu vergleichenden Lichtquellen L_1 und L_2 befindet sich eine undurchsichtige, auf beiden Seiten so weißgefärbte Platte p (aus Gips oder 2 Papierblättern, zwischen welche Staniol gelegt ist). Das von diesem Schirm diffus ausgestrahlte Licht fällt auf die beiden Spiegel S_1 und S_2, welche es senkrecht auf die Kathetenflächen ab und fg der beiden Glas-

Digitized by Google

prismen A und B werfen. Ein bei O befindliches Auge, welches mit Hilfe einer Lupe W senkrecht zur Kathetenfläche ef blickt,

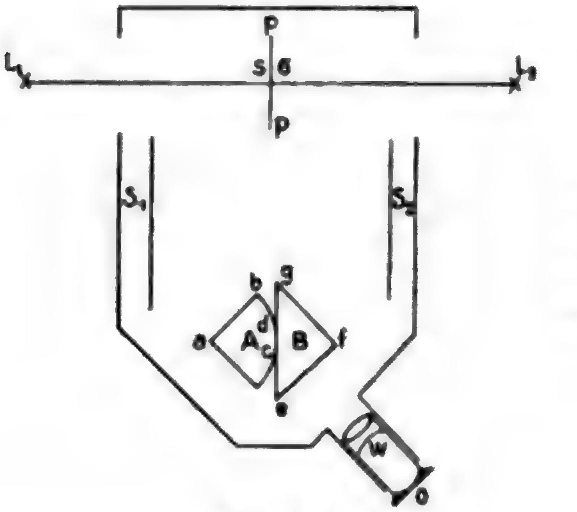


Fig. 10.

erhält dann durchgehendes und total reflektiertes Licht unmittelbar nebeneinander. Bei scharfer Einstellung der Lupe auf die Fläche ecdg erblickt man im allgemeinen einen deutlich begrenzten dunklen oder hellen Fleck in einem gleichmäßig erleuchteten Felde. Für den speziellen Fall, daß die Beleuchtungsstärken der beiden Seiten des Schirmes p einander gleich sind, verschwindet der Fleck, und das Auge in O erblickt den Glaswürfel gleichmäßig erhellt. Man hat somit die Lichtquellen L_1 und L_2 auf der Photometerbank in solche Entfernungen r_1 und r_2 vom Schirm p zu bringen, daß die Figur, welche durchgehendes und reflektiertes Licht trennt, verschwindet.

Nach genauen von Lummer und Brodhun angestellten Messungen bleibt bei diesem „Gleichheitsphotometer" der mittlere Fehler einer Einstellung bei zehn Beobachtungen unter $^1/_2$%. Der Fehler wird noch geringer, wenn man an Stelle des Gleichheitsphotometers ein gleichfalls von Lummer und Brodhun konstruiertes „Kontrastphotometer" benutzt, d. h. wenn man nicht auf das Verschwinden eines Feldes einstellt, sondern das gleichdeutliche Hervortreten zweier in den Glaswürfel eingeätzter Felder (A und B) auf einem gleichmäßig erleuchteten Hintergrunde (a b) beurteilt (siehe Fig. 11). Der mittlere Fehler ist hier nur $^1/_4$%, auch ist das Arbeiten mit diesem Photometer wenig ermüdend.

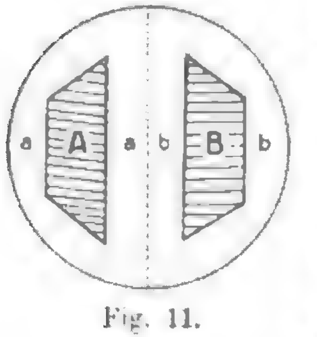


Fig. 11.

5e) **Milchglasphotometer** von **Leonhard Weber.** Ein Photometer, welches vielfacher Anwendungen fähig ist, insbesondere sich aber zur Ermittelung von Flächenhelligkeiten eignet, ist das Milchglasplattenphotometer von L. Weber. Für die Beleuchtungstechnik sowie für die Hygiene, insbesondere für die Schulhygiene, ist es ja zweifellos von größter Bedeutung zu wissen und ziffernmäßig angeben zu können, wie hell ein von Lampen, Flammen, der Sonne usw. beleuchteter Raum an seinen einzelnen Stellen ist. Das Photometer besteht aus zwei innen geschwärzten, aufeinander senkrecht stehenden Röhren A und B (Fig. 12).

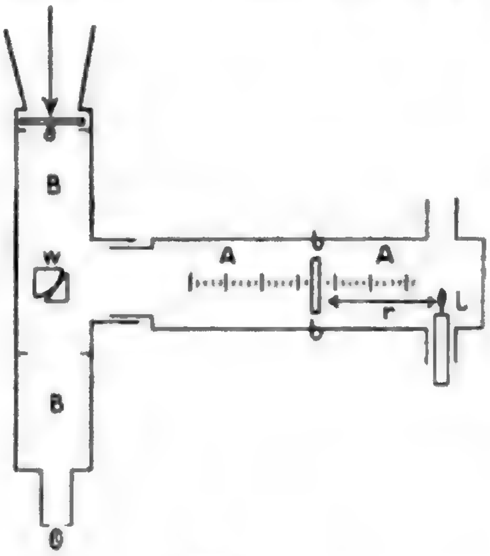


Fig. 12.

Die wagerechte (A) steht fest, die andere (B) kann in einer senkrechten Ebene um die Achse der feststehenden Röhre (A) gedreht werden. In den Röhren befinden sich die Milchglasplatten a und b, die von den zu vergleichenden Lichtquellen beleuchtet werden. Die zu messende Lichtquelle befindet sich vor dem Milchglase a des drehbaren Rohres B im Abstande R; die Vergleichslichtquelle L dagegen, eine auf 20 mm Flammenhöhe gehaltene Benzinkerze, beleuchtet die mittels eines Triebes in A verschiebbare andere Milchglasplatte b. Außerdem befindet sich in der Röhre B ein Lummer-Brodhunscher Gleichheits- oder Kontrastwürfel W und ein Okular bei O zum Beobachten des Würfels. Mittels des Triebes verschiebt man die Glasplatte b so lange, bis beim Hindurchsehen durch O der Photometerwürfel W gleiche Helligkeit beider Platten anzeigt. Um den Abstand r zwischen der Milchglasplatte b und der Benzinlampe L unmittelbar ablesen zu können, ist die Platte mit einem Index fest verbunden, der bei der Verschiebung der Platte über einer, an der Außenseite vom Rohre A angebrachten Millimeterteilung hingleitet. Zeigen beide

Digitized by Google

Platten gleiche Helligkeit, dann ist die gesuchte Lichtstärke $J = C\frac{R^2}{r^2}$. Hierbei ist C eine Instrumentalkonstante, die mit einer Hefnerlampe im Abstande R_1 vor der Platte a ermittelt wird. Es wird dann, da in diesem Falle $J = 1$ ist,

$$1 = C \cdot \frac{r_1^2}{R_1^2} \quad \text{oder} \quad C = \frac{R_1^2}{r_1^2}$$

Will man nunmehr ermitteln, wie groß die Beleuchtungsstärke einer weißen Wand oder dergleichen ist, so nimmt man aus dem Rohr B die Glasscheibe a heraus, stellt in der zu untersuchenden Ebene einen weißen Pappschirm auf und beobachtet das diffus reflektierte Licht, d. h. man richtet das Rohr B auf die Mitte des Schirmes und ermittelt wieder auf der am Rohr A angebrachten Millimeterteilung den Abstand r. Eine mäßige Schrägstellung des Rohres B (bis zu 30°) ist dabei ohne Einfluß. Die gesuchte Beleuchtungsstärke ist dann $\frac{C_0}{r^2}$ Meterkerzen, wobei C_0 wieder eine Instrumentalkonstante bedeutet. Man ermittelt C_0, indem man den weißen Pappschirm in einem Dunkelzimmer in der Entfernung R_1 durch eine Hefnerlampe senkrecht beleuchtet und wieder die photometrische Einstellung r_1 macht. Es ist dann $C_0 = r_1^2/R_1^2$.

Ist die Beleuchtung relativ stark, so mildert man das Licht, indem man in das Rohr B je nach Bedarf ein oder mehrere Rauchgläser einschiebt, deren Konstanten man wieder durch besondere Messungen ermitteln muß.

5f) Interferenzphotometer von Lummer. Ein Photometer, welches sich ganz besonders dazu eignet, sehr benachbarte Teile einer leuchtenden Fläche zu photometrieren, ist das Interferenzphotometer von Lummer. Die Konstruktion desselben beruht auf der Beobachtung der sogenannten Herschelschen Interferenzstreifen, welche entstehen, wenn man durch einen aus zwei rechtwinkligen, mit ihren Hypotenusenflächen aufeinandergelegten Prismen gebildeten Würfel längs der total reflektierten Strahlen nach einer leuchtenden Fläche (Flamme, Wolke oder dergleichen) blickt. Da die beiden aufeinandergelegten Glasprismen nicht direkt aufliegen, sondern durch eine sehr dünne Luftschicht voneinander getrennt sind, so erfahren die an der Hypotenusenfläche reflektierten Lichtwellen und die durch die trennende Luftschicht hindurchgehenden Gangunterschiede, d. h. es entstehen 2 Systeme von Interferenzstreifen. Bei homogenem Licht (z. B. Natriumlicht) fallen die hellen Streifen des einen Systems auf die dunkeln des anderen; bei gemischtem Licht fallen die komplementären Streifen aufeinander. Sind die Streifen von gleicher Intensität, so verschwinden sie.

Zur Messung von Lichtstärken, bringt man (Fig. 13) vor den Prismenwürfel ABCD zwei

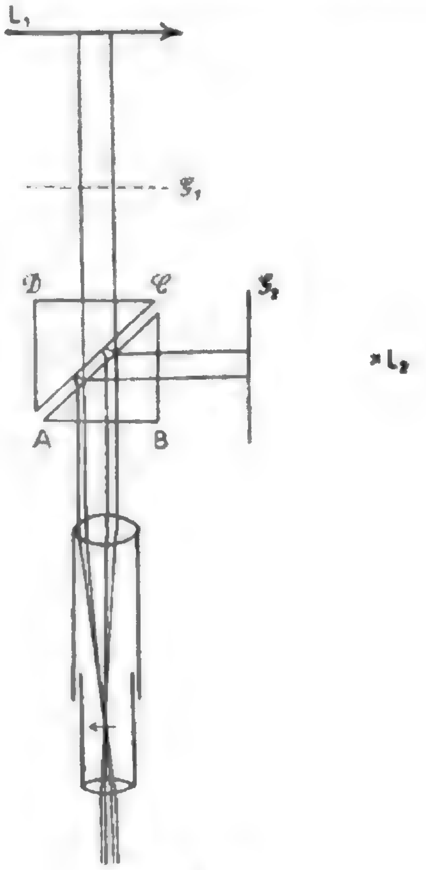


Fig. 13.

Mattglasplatten G_1 und G_2, die von den Lichtquellen L_1 und L_2 erhellt werden. Man beobachtet an einem auf Unendlich eingestellten Fernrohr und verschiebt die Vergleichslichtquelle L_2 so lange, bis die Streifen verschwunden sind.

Will man feststellen, wie die Flächenhelligkeiten von Lampenglocken, Wolken oder dergleichen von Stelle zu Stelle wechseln, so nimmt man die Mattscheibe G_1 fort, so daß man direkt durch den Würfel auf die zu messende Stelle der leuchtenden Fläche blickt, und bringt wieder durch Verschieben der Vergleichslichtquelle L_2 die Interferenzstreifen zum Verschwinden.

6. Meßbare Abschwächung der einen Lichtquelle durch andere Mittel als durch Entfernungsänderung. In manchen Fällen läßt sich das bisher eingeschlagene Verfahren zur meßbaren Schwächung der Helligkeit, durch Aenderung der Entfernung, nicht bequem anwenden. Hat man z. B. die Helligkeit einer Starklichtquelle von mehr als 80 HK mit der einer Hefnerlampe zu vergleichen, so muß man die

Digitized by Google

Lampe so nahe an den Schirm bringen, daß das Entfernungsgesetz nicht mehr gültig ist. Auch die Beleuchtung des Schirmes wird zu stark werden; erfahrungsgemäß darf die Helligkeit auf dem Photometerschirm eine nicht zu grelle sein. Die Reichsanstalt benutzt nach Liebenthal deshalb nur 2 bis 6 Lux, während Krüß 10 bis 20 Lux als die zum Photometrieren günstigste Beleuchtung des Photometrierschirms, und mehr als 30 Lux als bereits schädliche Beleuchtung bezeichnet. Auch der Farbenunterschied zwischen der Hefnerlampe und der Starklichtquelle wird meist als störend empfunden. Nun kann man zwar wie erwähnt, die Hefnerlampe durch eine heller brennende Vergleichslichtquelle ersetzen, jedoch wird dadurch die schädliche, zu grelle Beleuchtung des Photometerschirms noch mehr vergrößert. Da eine Verlängerung der Photometerbank über die sonst übliche Länge in den meisten Fällen nicht tunlich sein wird, so wird man zur meßbaren Abschwächung andere Hilfsmittel verwenden müssen, als da sind a) Blenden, b) absorbierende Mittel, c) rotierende Sektoren und d) Polarisatoren.

6a) Blenden oder Diaphragmen. Als solche können undurchsichtige, mit kreisförmigen oder rechteckigen Oeffnungen versehene Platten dienen, die in den Weg der Lichtstrahlen eingeschaltet werden. Die Ränder einer jeden sind verstellbar, so daß mittels einer Mikrometerschraube die Oeffnung meßbar eingeschnürt werden kann.

6b) Absorbierende Mittel. Als solche kommen Platten aus Milch-, Opal- und Rauchglas in Betracht. Ferner, da sich das Licht durch Platten nur sprungweise abschwächen läßt, zur kontinuierlichen Schwächung auch Keile aus Rauchglas. Es werden so viele dunkle Gläser vor das hellere Licht gestellt, daß letzteres auf die Stärke des anderen abgeschwächt wird. Vorher wird die Durchlässigkeit einer jeden Platte festgestellt, indem man die Helligkeit einer Lichtquelle zunächst ohne Einschaltung des dunklen Glases und dann nach Einschaltung desselben ermittelt. Das Verhältnis der durchgegangenen Lichtmenge zur auffallenden gibt die durch das Glas bewirkte „Extinktion" ε an. Die vom Glas absorbierte Lichtmenge ist demnach $1-\varepsilon$. War z. B. die Helligkeit der Lampe ohne Glas 16 HK, mit Glas 2 HK, so ist die durchgegangene Lichtmenge nur $\frac{2{,}0}{16{,}0} = \frac{1}{8}$ der auffallenden; das Glas bewirkt demnach eine Schwächung des Lichtes auf $\frac{1}{8}$, d. h. $\frac{7}{8}$ verbleiben im Glase.

Die angeführten Substanzen besitzen vielfach auch eine auswählende Absorption, so daß man gut tut, für jede Lichtart das Durchlässigkeitsvermögen zu prüfen (vgl. auch den Artikel „Absorption" Bd. I S. 39).

6c) Rotierende Sektoren. Wird zwischen die zu messende starke Lichtquelle und dem Photometerschirm eine undurchsichtige Scheibe mit einer Sektoröffnung gestellt und die Scheibe in sehr rasche Rotation versetzt, so erscheint der Schirm gleichmäßig, jedoch bedeutend schwächer erleuchtet. Beträgt z. B. die Gesamtgröße f des Sektorausschnittes in Bogengraden 60°, so ist der Schwächungsfaktor $\frac{60}{360} = \frac{1}{6}$. Indem man es so einrichtet, daß die Sektoröffnung zu regulieren ist, hat man somit ein einfaches Mittel zur meßbaren Schwächung des Lichtes. Die neueren Sektorenapparate nach Brodhun gestatten sogar, eine kontinuierliche Lichtschwächung während der Rotation vorzunehmen, und die Größe des jeweiligen Sektors dabei abzulesen.

6d) Polarisatoren. Von den zahlreichen Photometern, deren Konstruktion auf der Polarisation des Lichtes durch Brechung, Reflexion und Doppelbrechung beruht, beschreiben wir hier nur das zu exakter Photometrie sehr gut verwendbare Wildsche Polarisationsphotometer. Die hauptsächlichsten Bestandteile dieses Apparates sind 1. eine Savartsche Platte, 2. zwei Nikolsche Prismen und 3. ein doppelbrechender Kalkspatkristall.

1. Die Savartsche Platte besteht aus zwei, unter 45° zur Kristallachse herausgeschnittenen Quarzplatten, die derart aufeinander gekittet sind, daß ihre Hauptschnitte aufeinander senkrecht sind. Die beiden Platten im Verein mit einem Nikol, dessen Hauptschnitt einen Winkel von 45° mit den gekreuzten Hauptschnitten der beiden Platten einschließt, geben das „Savartsche Polariskop", einen Apparat, der bekanntlich in vorzüglicher Weise geeignet ist, die geringsten Spuren von Polarisation zu erkennen. Blickt man mit diesem Apparat nach einer bestimmten Stelle, etwa nach dem Himmel, so werden geradlinig parallele Interferenzstreifen sichtbar, sobald von der beobachteten Stelle polarisiertes Licht kommt.

2. Ein Nikolsches Prisma dient zur Erzeugung von einheitlich polarisiertem Licht, es läßt nur den einen der beiden durch Doppelbrechung entstehenden Strahlen, den „außerordentlichen" hindurch, während der „ordentliche" durch Totalreflexion beseitigt wird.

3. Der doppelbrechende Kalkspatkristall spaltet die Lichtmenge G eines auffallenden parallelen, geradlinig polarisierten, homogenen Strahlenbündels in zwei Teile und

Digitized by Google

läßt, nach dem erweiterten Gesetz von Malus, im ordentlichen Strahlenbündel die Lichtmenge $D_0 G \sin^2\varphi$ und im außerordentlichen Strahlenbündel die Lichtmenge $D_a G \cos^2\varphi$ hindurch, wobei φ den Winkel bedeutet, den die Schwingungsrichtung des Lichtes mit dem Hauptschnitt des Kristalls bildet und D_o, D_a die Ourchlässigkeitsvermögen des Kristalles für die ordentlichen und außerordentlichen Strahlen sind. Für einen Nikol ist nach Obigem $D_o=0$.

Beistehende Figur (14) gibt die Anordnung der wesentlichsten Teile des Apparates:

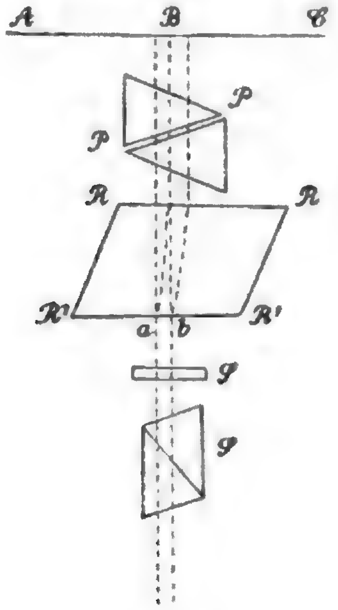


Fig. 14.

die beiden Lichtquellen L_1 und L_2 beleuchten senkrecht die beiden Hälften AB und BC der durchscheinenden Glasplatte ABC in den Abständen r_1 und r_2. Die von diesen Flächen AB und BC in dazu senkrechter Richtung ausgehenden Strahlen durchlaufen zunächst ein polarisierendes Nikol PP, das sich um die durch B gehende und auf AC senkrecht stehende Achse des Apparates meßbar drehen läßt, und fallen sodann auf einen großen Rhomboeder RRR'R' aus isländischem Doppelspat. In diesem Kristall teilt sich jeder Strahl in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl; bei b tritt der von B ausgehende Strahl als ordentlicher, bei a als außerordentlicher Strahl aus dem Kalkspatkristall aus. Die verschiedenen, sich überdeckenden und in zueinander senkrechten Ebenen polarisierten Strahlen durchsetzen sodann das Savartsche Polariskop S und gelangen schließlich in das Auge. Da gleiche Mengen senkrecht zueinander polarisierten Lichtes miteinander gemischt sich verhalten wie gewöhnliches Licht, so dreht man den Polarisator PP so lange, bis die Interferenzstreifen im Gesichtsfelde verschwinden.

Nach den obigen Betrachtungen sind die Lichtstärken der von ab ausgehenden Lichtbündel gleich

$$c_1.D.D_a \frac{J_1}{r_1^2} \cos^2\varphi \text{ und } c_2.D.D_o \frac{J_2}{r_2^2} \sin^2\varphi$$

wobei D das Durchlässigkeitsvermögen des Nikols ist, D_o, D_a die des Kalkspatkristalls für die ordentlichen und die außerordentlichen Strahlen sind. c_1 und c_2 sind Konstanten, die durch die verschiedene Absorbierbarkeit im Apparat bedingt sind, φ ist der Winkel, welchen die Hauptschnitte vom Nikol PP und vom Rhomboeder RRR'R' bilden. Verschwinden die Streifen im Gesichtsfelde, so ist

$$c_1.D.D_a \frac{J_1}{r_1^2} \cos^2\varphi = c_2.D.D_o \frac{J_2}{r_2^2} \sin^2\varphi$$

oder

$$J_2 = \left(\frac{c_1 D_a}{c_2 D_o}\right)\frac{r_2^2}{r_1^2} \operatorname{cotg}^2\varphi . J_1 = C\frac{r_2^2}{r_1^2} \operatorname{cotg}^2\varphi . J_1.$$

Die Konstante C weicht nur wenig von 1 ab.

7. Photometrieren verschiedenfarbiger Lichtquellen. Bis jetzt haben wir stillschweigend vorausgesetzt, die zu vergleichenden Lichtquellen seien genau gleichfarbig. Sind die Farben der Lichtquellen dagegen verschieden, und das ist gewöhnlich der Fall, so ergeben sich beim Photometrieren Schwierigkeiten. Zunächst ist die Empfindlichkeit des menschlichen Auges gegen Helligkeitsunterschiede von verschieden gefärbtem Licht erfahrungsgemäß geringer als die gegen Helligkeitsunterschiede gleichgefärbter Flächen; infolgedessen machen ungeübte Beobachter auch verschiedene Einstellungen, wenn es sich darum handelt, zu entscheiden, ob zwei verschieden gefärbte Vergleichsfelder gleich hell erscheinen. Dieses Gefühl der Unsicherheit macht sich um so mehr bemerkbar, je größer die Farbendifferenzen sind. Man sucht deshalb durch geeignete Mittel den Farbenunterschied ganz aufzuheben oder doch wenigstens abzuschwächen, beispielsweise durch Zwischenschaltung von mehr oder minder bläulich gefärbten Gläsern oder durch geeignete absorbierende Flüssigkeiten. Beim Photometrieren von Bogen- oder Gasglühlicht ersetzt man die Hefnerlampe zweckmäßig durch eine Osmium- oder eine Azetylenlampe, die weißlicher als die Hefnerlampe brennen und damit in ihrem Licht der zu messenden Lampe näher kommen. Wybauw, Krüß und andere beleuchten das eine Photometerfeld durch die zu messende stärkere Lichtquelle, das zweite durch eine Normallampe und außerdem durch einen bestimmten Bruchteil des Lichtes der ersten Lampe. Die Färbung, welche das zweite Vergleichsfeld erhält, kommt dann derjenigen des ersten näher.

Digitized by Google

Vorteilhaft ist es ferner, große und hinreichend stark beleuchtete Vergleichsfelder zu benutzen, da dann das beim Photometrieren verschiedenfarbiger Lichtquellen außerordentlich störende Purkinjesche Phänomen nicht auftritt.

Das Purkinjesche Phänomen besteht im folgenden: Beleuchtet man einen Schirm, auf dem nebeneinander zwei verschiedengefärbte Papiere, zweckmäßig ein rotes und ein blaugrünes, befestigt sind, durch die Strahlen einer Lampe, so daß die beiden Farben gleich hell erscheinen, so bleibt diese gleiche Helligkeit nicht mehr bestehen, sobald man die Intensität der Beleuchtung, etwa durch Nähern oder Entfernen der Lichtquelle, ändert. In dem Maße als man die Helligkeit auf dem Schirm allmählich vermindert, wird das Rot dunkler als das Blaugrün, es verschwindet schließlich ganz, da die Stäbchen unserer Netzhaut für Rot bedeutend weniger empfindlich sind, als für Blaugrün. Sorgt man infolgedessen für genügende Beleuchtung der Photometerfelder, so werden die Elemente der Netzhaut, denen die Rolle des „Sehens im Dunkeln" zufällt, die „Stäbchen" vollständig oder doch nahezu ausgeschaltet.

Weiterhin hat man versucht, die bekannten, zum Vergleich gleichfarbiger Lichtquellen dienenden Photometer auch bei ungleichfarbigen Lichtquellen zu benutzen. So sucht man beim Lummer-Brodhunschen Kontrastphotometer zu ermitteln, wo die Trennungslinie in der Mitte des Gesichtsfeldes (Fig. 11), die bei ungleichfarbigen Lichtquellen nicht zum Verschwinden gebracht werden kann, möglichst undeutlich wird und sieht dieses Undeutlichwerden der Grenze als Kriterium gleicher Helligkeit an. Beim Wildschen Polarisationsphotometer verfährt man ähnlich und ermittelt diejenige Stellung des Polarisators P (Fig. 14), wo die übrigbleibenden Interferenzfarben ein Minimum an Helligkeit erreichen.

Von anderen Methoden hat in letzter Zeit das von Rood in die Photometrie eingeführte „Flimmerprinzip" die meiste Beachtung gefunden, das einen weiteren wichtigen Beitrag zur Lösung des überaus schwierigen Problems der „heterochromen Photometrie" darstellt. Das Prinzip ist folgendes: Blickt man auf eine rotierende, abwechselnd aus dunklen und hellen Sektoren bestehende Scheibe, so kann man bei geringer Umdrehungsgeschwindigkeit die einzelnen Sektoren deutlich erkennen; steigert man die Geschwindigkeit, so beginnt es dem Beobachter vor den Augen zu „flimmern" und er kann die Sektoren bald nicht mehr voneinander unterscheiden. Wird die Geschwindigkeit noch mehr gesteigert, so wird das unangenehme Flackern schwächer; es hört schließlich ganz auf, und der Beobachter erblickt die Scheibe als eine gleichmäßig grauleuchtende Fläche. Ein anderes Mittel, das Flimmern zum Verschwinden zu bringen, besteht darin, die Beleuchtung durch ein optisches Verfahren gleich zu machen; ist die Helligkeit der verschiedenen Sektoren die gleiche, dann tritt überhaupt bei keiner Umdrehungsgeschwindigkeit Flimmern auf. Läßt man andererseits eine Scheibe rotieren, die mit verschiedenfarbigen, etwa mit blauen und roten Sektoren belegt ist, so tritt bei langsamer Rotation im allgemeinen gleichfalls Flimmern auf; findet kein Flimmern statt, so ist zu folgern, daß die rote und die blaue Energie in unserer Netzhaut die gleiche Helligkeitsempfindung auslösen. Nach Rood wird somit als Kriterium der Gleichheit der Beleuchtungen das Verschwinden des Flimmerns angesehen.

Nach dem Roodschen Prinzip sind eine ganze Reihe von Photometern gebaut worden, so von Rood selbst, ferner von Whitman, Bechstein, Simmance und Abady, sowie von Krüß. Das von letzterem gebaute Flimmerphotometer ist demjenigen von Ritchie (Seite 768) ähnlich. Zwei Spiegel AB und BC werfen die von den Lichtquellen L_1 und L_2 (Fig. 15) kommenden Lichtstrahlen

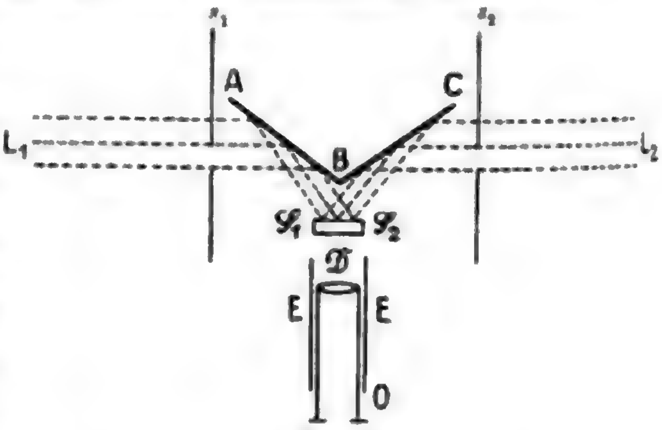


Fig. 15.

auf eine Mattglasscheibe S_1 S_2, die von dem in E verschiebbaren Okularrohr O aus mit der Lupe D genau betrachtet werden kann. Vor jeder der beiden Lichteinströmungsöffnungen befindet sich eine rotierende Sektorenscheibe (s_1, s_2) derart angeordnet, daß die eine Lichteinströmungsöffnung geöffnet ist, sobald die andere verschlossen ist. Um sich davon überzeugen zu können, daß die Lichtstrahlen richtig auffallen, sind außerdem an dem Apparate vorklappbare Zentrierscheiben angebracht. Hört das Flimmern auf für die Abstände r_1 und r_2 der Lichtquellen L_1 und L_2 mit den Intensitäten J_1 und J_2, so gilt wieder wie früher:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

8. Spektrophotometrie. Die „Photometrie im Spektrum" findet vielfache Anwendungen, so bei Messungen des Reflexionsvermögens, der Lichtstärken verschiedenartiger Lichtquellen, der Absorption des Lichtes durch gefärbte Lösungen (vgl. hierzu den Artikel „Absorption" in Bd. I S. 41).

Hat man verschiedenartige Lichtquellen miteinander zu vergleichen, so kann man das Licht einer jeden Lichtquelle durch ein Prisma in seine spektralen Bestandteile zerlegen und die Helligkeit der einzelnen Spektralteile miteinander vergleichen, also die roten Lichtstrahlen der einen Lichtquelle mit den roten der anderen, die gelben mit den gelben usw. Zur Zerlegung des Lichtes bedient man sich gewöhnlich eines Spektralapparates, dessen Fernrohr einen Okularspalt trägt, der aus dem in seiner Ebene entstehenden Spektrum einen eng begrenzten Spektralbezirk ausschneidet. Um die gleichfarbigen Bestandteile beider Spektren bequem vergleichen zu können, richtet man es so ein, daß dieselben genau übereinander zu liegen kommen. Man bedeckt zu diesem Zwecke die obere Hälfte des Kollimatorrohres mit einem total reflektierenden Prisma und läßt auf dieses die Strahlen der einen Lichtquelle, auf die untere freie Spalthälfte dagegen die Strahlen der anderen Lichtquelle auffallen. Die Helligkeit der beiden im Okularspalt entstehenden, übereinander liegenden gleichfarbigen Felder ist im allgemeinen verschieden; um sie zu vergleichen, schwächt man die Gesamthelligkeit des einen der beiden Spektren in meßbarer Weise, bis die Helligkeiten der untersuchten Farbe gleich geworden sind. Diese Schwächung kann durch polarisierende Vorrichtungen bewirkt werden, oder nach Vierordt durch Aenderung der relativen Weite der beiden Spalthälften. Vierordt benutzt als Photometer einen Spektralapparat, dessen Kollimatorspalt aus zwei übereinander liegenden Spalten besteht (Vierordtscher Doppelspalt); jeder dieser Spalte kann durch je eine Schraube mikrometrisch verengert und erweitert werden. Bei Messungen erweitert man denjenigen Spalt, vor dem die schwächere Lichtquelle steht, so lange, bis beide Spektren gleich hell erscheinen. Dann verhalten sich die Intensitäten für diese Farbe der Spektra nahezu umgekehrt wie die Spaltbreiten.

Wenn die eine der beiden Lichtquellen zu stark ist, so schwächt man ihr Licht wieder durch ein Rauchglas ab.

Der Vorteil der Vierordtschen Methode liegt besonders in ihrer Einfachheit, ihr Nachteil darin, daß infolge der verschiedenen Spaltbreiten die beiden zu vergleichenden Spektren nicht völlig gleichen Farbenton besitzen. Prinzipiell vollkommener ist die Polarisationsmethode. Spektrophotometer mit Polarisation sind unter anderen von Crova, Glan, Glazebrook, Hüfner, Wild beschrieben worden: das insbesondere zur Untersuchung der Extinktion von Lösungen und farbigen Gläsern leistungsfähigste ist das von A. König angegebene, durch Martens und Grünbaum vervollkommnete Spektralphotometer.

Martens und Grünbaum beschreiben die Einrichtung ihres Apparates folgendermaßen: „die vom Spalte S_1 (Fig. 16) aus-

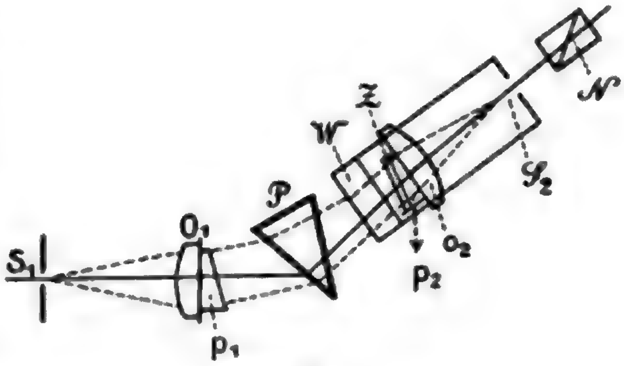


Fig. 16.

gehenden Strahlen werden von der Objektivlinse O_1 parallel gemacht, durch das Flintglasprisma P nach Maßgabe der Wellenlänge abgelenkt und durch die Objektivlinse O_2 zu einem Spaltbilde am Ort des Okularspaltes S_2 vereinigt. Der durch S_2 blickende Beobachter sieht die ganze Fläche der Objektive gleichmäßig und einfarbig beleuchtet. Die beiden (an die Objektive O_1 und O_2 angekitteten) Prismen p_1 und p_2 aus Crownglas haben die wichtige Aufgabe, die zweimalige Reflexion von Strahlen an den optischen Flächen, die bei der alten Konstruktion sehr störend wirkte, unschädlich zu machen. Figur 17 stellt einen horizontalen Schnitt durch das Photometer dar; man muß sich natürlich die Ebene der Zeichnung in Wirklichkeit im Dispersionsprisma P umgebogen vorstellen.

Der Eintrittsspalt S_1 ist durch Blenden in zwei Spalte a und b geteilt, in welche die miteinander zu vergleichenden Lichtbündel I und II eintreten. Nehmen wir zunächst an, das Wollastonprisma W und das Zwillingsprisma Z seien nicht vorhanden. Dann würden von den Spalten a und b zwei Bilder, C und A, entstehen, wie es im Teil C der Figur 17 dargestellt ist. Denken wir uns nun das Wollastonprisma, welches aus zwei verkitteten Kalkspatprismen besteht, eingesetzt, dann entstehen durch Doppelbrechung zwei Bilder C_h und A_h (vgl. Fig. 17D) mit horizontaler Schwingungsrichtung des Lichtes; zwei andere Bilder C_v und A_v mit vertikaler Schwingungsrichtung. Nehmen wir nun

weiter an, auch das Zwillingsprisma Z werde eingeführt, dann entwirft die in Figur 17 obere Hälfte 1 eine nach unten abgelenkte Spaltbilderreihe C_{h_1}, C_{v_1}, A_{h_1}, A_{v_1}; die untere Hälfte 2 eine nach oben abgelenkte Spaltbilderreihe C_{h_2}, C_{v_2}, A_{h_2}, A_{v_2}. Nur das Licht der zentralen Bilder C_{v_1} und A_{h_2} wird nun vom Okularspalt durchgelassen.

$$\frac{J''}{J'} = tg^2 \alpha_1$$

bei Messung 2:

$$\frac{J'}{J''} = tg^2 \alpha_2$$

Durch Division folgt:

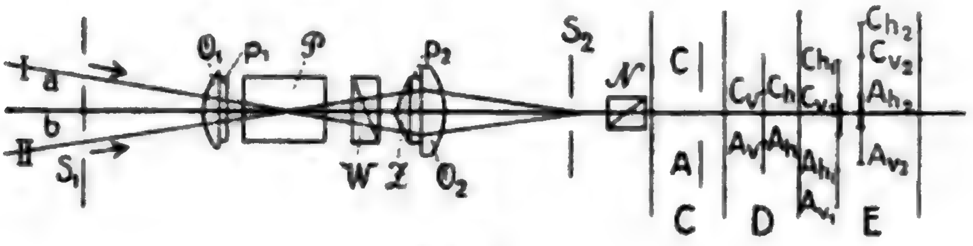


Fig. 17.

Mithin sieht ein am Okularspalt befindliches Auge das Feld 1 mit vertikal schwingendem Lichte vom Spalt b beleuchtet; das Feld 2 mit horizontal schwingendem Lichte vom Spalt a. Dieser Strahlengang ist in der Figur 17 durch die ausgezogenen Strahlenbündel I und II angedeutet. Das Zwillingsprisma ist die eigentliche Vergleichsvorrichtung, auf die gleiche Helligkeit der beiden Hälften der photometrischen Vergleichsfelder wird bei allen Messungen eingestellt.

Da das von den Vergleichsfeldern ins Auge kommende Licht in zwei zueinander senkrechten Richtungen polarisiert ist, kann man leicht eine Vorrichtung zur meßbaren Aenderung der Lichtintensitäten konstruieren; hierzu dient ein meßbar drehbares Nikol N, welches sich zwischen Okularspalt und Auge befindet."

Will man mit dem Apparat Absorptionsmessungen an Lösungen ausführen, so bringt man in den Gang der Strahlen I und II (vgl. Figur 17) Absorptionsröhren, von denen die eine mit der Lösung, die andere mit dem reinen Lösungsmittel beschickt ist, und stellt die beiden Hälften des Gesichtsfeldes auf gleiche Helligkeit, d. h. auf Verschwinden der Trennungslinie, ein. Man macht sodann das eine Mal eine Ablesung (α_1), wenn die Lösung im Strahlenbündel I, das Lösungsmittel in II ist. Das andere Mal (α_2), wenn die Lösung im Strahlenbündel II und das Lösungsmittel in I ist. Die Winkel (α) zählt man von der Stellung des Nikols aus, bei der die rechte Hälfte des Gesichtsfeldes dunkel ist. Bezeichnet man die einfallende Lichtstärke mit J, die nach Durchstrahlung der Lösung übrig bleibende mit J', die nach Durchstrahlung des Lösungsmittels restierende mit J'', so gilt bei Messung 1:

$$\left(\frac{J'}{J''}\right)^2 = \frac{tg^2 \alpha_2}{tg^2 \alpha_1}, \text{ oder } \frac{J'}{J''} = \frac{tg\, \alpha_2}{tg\, \alpha_1}, \text{ oder}$$

$$\frac{J'/J}{J''/J} = \frac{tg\, \alpha_2}{tg\, \alpha_1}$$

Hierfür läßt sich schreiben:

$$\log \frac{J'}{J} - \log \frac{J''}{J} = \log tg\, \alpha_2 - \log tg\, \alpha_1.$$

Nun erfolgt nach dem Lambertschen Gesetze die Schwächung des Lichtes in einem homogenen absorbierenden Stoff nach der Gleichung:

$$\frac{J}{J_0} = e^{-cd}$$

Dabei sind c die Absorptionskonstante, J_0 die einfallende Lichtstärke, J die nach Durchstrahlung der d Zentimeter dicken Schicht übrig bleibende Lichtstärke. Demnach ist:

$$\log \frac{J}{J_0} = -c\, d \log e = -\varepsilon\, d,$$ wobei $\varepsilon = c \log e$ den Bunsenschen „Extinktionskoeffizienten" bedeutet (vgl. auch den Artikel „Absorption").

Somit ergibt sich:

$$\varepsilon - \varepsilon_0 = \frac{\log tg\, \alpha_2 - \log tg\, \alpha_1}{d}$$

Hierbei sind ε, ε_0 die Extinktionskoeffizienten der Lösung und des Lösungsmittels für die gewählte Wellenlänge.

Bei sehr genauen Messungen arbeitet man mit einfarbigem Licht; beim Arbeiten mit Funkenspektrallinien wird die Bestimmung von Extinktionskoeffizienten auf 0,5–1% genau.

9. Indirekte Photometer. Chemische, photoelektrische, thermoelektrische, Selenphotometer. Auf indirekte Photometer,

Digitized by Google

wie chemische, photoelektrische, thermoelektrische, Selenphotometer und dergleichen, kann hier nur ganz kurz hingewiesen werden. „Eine Lichtquelle, welche gleichviel Wärmewirkung hervorbringt, wie eine zweite, braucht darum noch nicht gleich hell zu sein. Es ist somit zu verwerfen, wenn man Radiometer, Selenzelle oder Bolometer benutzen will, um die leuchtenden Wirkungen der Lichtquellen festzustellen. Nur das Auge darf über die Helligkeit der Lichtquellen urteilen" (Lummer).

Chemische Photometer. Diese messen meist die Fähigkeit von Lichtstrahlen, gewisse chemische Reaktionen hervorzurufen. Hierher gehören z. B. das Chlorknallgasaktinometer von Bunsen und Roscoe (Vereinigung von Chlor und Wasserstoff) sowie das Edersche Quecksilberoxalataktinometer (Ausscheidung von Quecksilberchlorür aus Mischungen von Quecksilberchlorid und Ammoniumoxalat). Ferner gehören hierher die photographischen Photometer, die insbesondere für die Photometrie der Gestirne von Wichtigkeit sind.

Elektrochemische Photometer. Ein solches kann man sich z. B. nach Rigollot sehr einfach aus zwei in der Bunsenflamme schwach oxydierten Kupferplatten herstellen, die in eine einprozentige Lösung eines Alkalihaloides eintauchen, und von denen nur eine der Wirkung des Lichtes ausgesetzt wird. Die an einem empfindlichen Galvanometer abgelesene Stromstärke kann dann zur Bestimmung der Lichtintensität dienen.

Thermoelektrische Photometer. Ein solches erhält man, wenn man auf die berußte Fläche einer Thermosäule Licht fallen läßt, das durch eine wärmeabsorbierende Alaunlösung gegangen ist.

Selenphotometer. Diese beruhen auf der Eigenschaft des Selens, durch Belichtung eine Verminderung des elektrischen Widerstandes zu erfahren. Bei dem Selenphotometer nach Siemens wird ein Selenplättchen von einem elektrischen Strom durchflossen und so zuerst der Einwirkung einer Normallampe, dann der Belichtung der zu messenden Lichtquelle ausgesetzt. Durch Entfernung oder Annäherung des Plättchens an die Lichtquelle kann auf gleichen Widerstand des Selens eingestellt werden.

10. Die Bestimmung von mittleren Lichtstärken. Die Tatsache, daß die meisten gebräuchlichen Lichtquellen nach verschiedenen Richtungen hin ganz verschiedene Lichtstärken besitzen, führt zu der technisch wichtigen Aufgabe, die Lichtverteilung rings um die Lampen praktisch und theoretisch zu ermitteln. Die verschiedenen Glühlampen mit ihren verschieden gestalteten Kohle- resp. Metallfäden sind insbesondere in der Reichsanstalt sehr eingehend von E. Liebenthal (Praktische Photometrie 1907) untersucht worden, dessen Ausführungen wir uns vielfach anschließen.

10a) Definitionen. Unter der „mittleren horizontalen Lichtstärke" (J_m) versteht man das Mittel aus den Lichtstärken in allen zu der vertikal stehenden Lampenachse senkrechten Richtungen.

Unter der „mittleren Lichtstärke unter der Poldistanz ϑ" [$J(\vartheta)$] werde das Mittel aus den Lichtstärken in allen Richtungen verstanden, welche die Poldistanz ϑ besitzen.

Unter der mittleren räumlichen Lichtstärke (J_s) versteht man den Mittelwert der Lichtstärken in allen Richtungen des Raumes. Dementsprechend wird unter der (mittleren) unteren oder oberen hemisphärischen Lichtstärke ($J_{s,u}$ und $J_{s,o}$) der Mittelwert der Lichtstärken in allen Richtungen unterhalb oder oberhalb der durch die Lampenmitte gehenden Horizontalebene verstanden.

Zieht man vom Mittelpunkt L der Lichtquelle nach allen Richtungen hin Radienvektoren und trägt auf jedem Radiusvektor vom Zentrum eine Strecke ab, die der Länge nach der für diese Richtung geltenden Lichtstärke entspricht (1 mm bedeute z. B. 1 HK), so liegen die Endpunkte dieser Strecken auf der „photometrischen Oberfläche". Legt man durch die Lampenmitte senkrecht zur Lampenachse eine Ebene, so schneidet diese die photometrische Oberfläche in einer Kurve, welche die Lichtverteilung der Lichtstärke in dieser Ebene kennzeichnet.

Denkt man sich von der Lampenmitte L (vgl. Kurve I in der beistehenden Figur 18, aufrechtstehende Kohlenfadenlampe, nach Liebenthal) Leitstrahlen gezogen, welche mit der Lampenachse LA die Winkel $\vartheta_0 (=0)$, ϑ_1, ϑ_2, $\ldots \vartheta_p (=180^\circ)$ bilden und macht diese Lichtstrahlen gleich den mittleren Lichtstärken $J(\vartheta_0)$, $J(\vartheta_1)$, $J(\vartheta_2) \ldots J(\vartheta_p)$, so erhält man durch Verbindung der Endpunkte D_0, D_1, $D_2 \ldots$ dieser Strecken die „Kurve der räumlichen Lichtverteilung".

10b) Berechnung der mittleren räumlichen Lichtstärke und der hemisphärischen Lichtstärken. Diese lassen sich sowohl durch rechnerische wie durch graphische Verfahren ermitteln.

α) Bedeutet s die Lichtmenge, welche von einer Lichtquelle nach allen Richtungen ausgesandt wird, J die Lichtstärke im Abstande 1 von der Lichtquelle, i die Lichtstärke in der Entfernung r, so gilt, wenn s von der Richtung unabhängig ist:

$$\Phi_s = 4\pi J = 4\pi i r^2$$

Besitzt dagegen die Strahlenquelle nach ver-

Digitized by Google

schiedenen Richtungen ungleiche Intensität, so kann man J als Funktion der Polarkoordinaten ϑ und φ ansehen, deren Koordinatenanfangspunkt sich im Mittelpunkt der Lichtquelle befindet. Dann ist:

$$\Phi_s = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} J(\vartheta, \varphi) \sin\vartheta \, d\vartheta \, d\varphi$$

Bei vielen Lichtquellen ist J vom Azimut unabhängig; bei vertikaler Achse der Koordinaten ist:

$$\Phi_s = 2\pi \int_0^{\pi} J(\vartheta) \sin\vartheta \, d\vartheta$$

Für die mittlere Lichtstärke J_s ergibt sich

$$J_s = \frac{\Phi_s}{4\pi} = \frac{2\pi}{4\pi} \int_0^{\pi} J(\vartheta) \sin\vartheta \, . \, d\vartheta$$

oder

$$J_s = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} J(\vartheta) \sin\vartheta \, d\vartheta$$

Ebenso wird für die hemisphärischen Lichtstärken $J_{s.u}$ und $J_{s.o}$

$$J_{s.u} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} J(\vartheta) \sin\vartheta \, d\vartheta; \; J_{s.o} = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} J(\vartheta) \sin\vartheta \, d\vartheta$$

β) Zur Ermittelung der mittleren räumlichen Lichtstärke J_s aus der Lichtverteilungskurve (Fig. 18) beschreibt man um die Mitte der Lampe L einen Halbkreis ACB mit beliebigem Radius. Der Durchmesser AB dieses Halbkreises ist dann

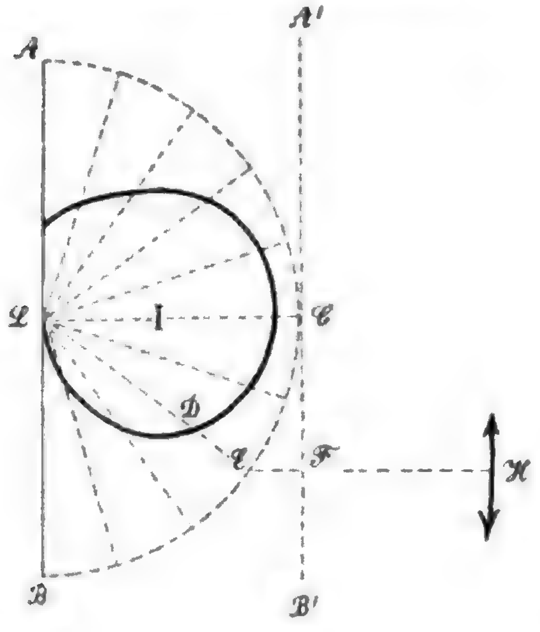


Fig. 18.

die Abszissenachse der sogenannten Rousseauschen Kurve. Man zieht sodann durch einen beliebigen Punkt D der Kurve den Radius LE und zu AB im Abstand LC eine Parallele A'B'. Sodann fällt man von E auf die Parallele ein Lot EF und trägt auf der Verlängerung desselben von F aus die Lichtstärke LD = FH als Ordinate auf. Mit den anderen Punkten der Lichtverteilungskurve verfährt man ebenso und verbindet die so erhaltenen Punkte (H_1, H_2...) durch eine Kurve. Die mittlere Ordinate dieser Kurve ist dann die gesuchte mittlere Lichtstärke J_s^{*}. Nimmt man nur aus den Werten der Lichtstärke, die im unteren (oberen) Quadranten erhalten werden, das Mittel, so erhält man die mittlere untere (obere) hemisphärische Lichtstärke.

10c) Bestimmung der mittleren räumlichen Lichtstärke und der hemisphärischen Lichtstärke durch Messung. Zur Kennzeichnung der Lichtstärke von Petroleumrundbrennern und Kerzen genügt zuweilen eine einzige Messung in horizontaler Richtung. Handelt es sich um den Vergleich von Gasglühlichtlampen und elektrischen Lampen von derselben Schleifenform, so bestimmt man die mittlere horizontale Lichtstärke J_m. In den meisten Fällen dagegen mißt man die mittleren Lichtstärken $J(\vartheta)$ und ermittelt hieraus die mittlere räumliche Lichtstärke J_s. $J(\vartheta)$ wird gefunden, indem man in einer hinreichenden Anzahl gleichweit voneinander entfernter Meridiane unter der Poldistanz ϑ die einzelnen Lichtstärken $J(\vartheta, \varphi)$ bestimmt und aus den gefundenen Werten das Mittel nimmt. Bei der Bestimmung sämtlicher $J(\vartheta)$-Werte wählt man zweckmäßig die gleichen Meridiane.

Bei derartigen Messungen hat man somit die Anordnung so zu treffen, daß die unter der beliebigen Poldistanz ϑ ausgehenden Strahlen auf den Photometerschirm gelangen und daß der Photometerschirm nacheinander in die verschiedenen Meridiane kommt. Mit Photometern, welche ein auf die zu messende Lampe zu richtendes Beobachtungsrohr besitzen (siehe das L. Webersche S. 770), können unmittelbar Messungen unter jeder beliebigen Poldistanz ausgeführt werden. Mit anderen Photometern kann man mit einer geraden Photometerbank auskommen, wenn man den Photometerschirm in geeigneter Weise dreht oder Spiegel benutzt, welche die zu messenden Strahlen in horizontaler Richtung ins Photometer werfen. Für Lampen mit großen Dimensionen kommt das zuerst genannte (Hartleysche) Verfahren in Betracht, für Lampen mit Glocken das zweite. Für elektrische Glühlampen werden außerdem noch besondere Stative benutzt, zum Drehen um die Lampenachse und um eine dazu senkrechte Achse.

10d) Kugelphotometer von Ul-

Digitized by Google

bricht. Die punktweise Aufnahme der mittleren sphärischen Lichtstärke J_s ist mit einem großen Aufwand von Zeit und Sorgfalt verbunden. Um das Verfahren abzukürzen, hat man seit einer Reihe von Jahren Photometer konstruiert, die durch eine einzige Messung gestatten, J_s zu ermitteln. In Betracht kommt hier vor allem das Kugelphotometer von Ulbricht. Beistehende Figur 19 zeigt die Einrichtung

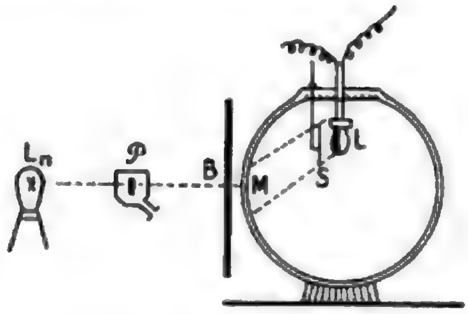


Fig. 19.

des Apparates. Die Kugel von mindestens 50 cm Durchmesser ist entweder aus Milchglas oder aus Metall (Zinkblech) hergestellt. Der Innenraum, der Verschlußdeckel sowie alle innerhalb der Kugel befindlichen Gegenstände werden mit einem weißen, hitzebeständigen Ueberzug — nach Wedding aus Lithopone (Baryumsulfat) — versehen. Nur eine kleine seitliche Oeffnung M bleibt frei, um durch dieselbe von außen die diffuse Innenbeleuchtung beobachten zu können. Die zu messende Lampe L (Glüh- oder Bogenlampe) wird in den oberen Teil der Kugel eingeführt. Damit die Oeffnung M durch die Lampe L nur durch indirektes Licht beleuchtet wird, ist in geringem Abstand von der Lichtquelle eine kleine, weiße, halbdurchsichtige Scheibe S angebracht, welche alle direkten Strahlen von M fernhält. M wird somit nur durch reflektiertes Licht von den mattweiß gestrichenen Wänden der Kugel beleuchtet. Setzt man vor die Beobachtungsöffnung M noch eine Blende B mit einer kreisförmigen Oeffnung, so leuchtet diese Oeffnung mit einer Lichtstärke J, die der mittleren räumlichen Lichtstärke J_s proportional ist. In Zeichen:

$$J_s = CJ,$$

wobei C eine Apparatkonstante bezeichnet. Man bestimmt J mittels des Photometers P und der Normalflamme L_n, die Konstante C mittels einer Normalglühlampe von genau bekannter mittlerer sphärischer Lichtstärke.

Literatur. *Zusammenfassende Werke: Aeltere Werke:* **Lambert**, *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae. Augsburg 1760. Deutsch von E. Anding, Nr. 31 bis 33 von Ostwalds Klassikern der exakten Naturwissenschaften. Leipzig 1892* — **Beer**, *Grundriß des photometrischen Kalküls. Braunschweig 1854.* — **Zöllner**, *Photometrische Untersuchungen. Leipzig 1865.* — **Krüss**, *Elektrotechnische Photometrie. Wien 1886.* — *Neuere Werke:* **G. Müller**, *Die Photometrie der Gestirne. Leipzig 1897.* — **Palaz**, *Traité de photometrie industrielle.* — **E. Liebenthal**, *Praktische Photometrie. Braunschweig 1907.* — **J. Scheiner**, *Spektralanalytische und photometrische Theorien. Leipzig 1909.* — *Die betreffenden Kapitel in* **Müller-Pouillets** *Lehrbuch der Physik, Band II, Buch III. Braunschweig 1909.* — **O. D. Chwolson**, *Lehrbuch der Physik, Bd. II. Braunschweig 1904.* — **Strecker**, *Hilfsbuch für die Elektrotechnik. Berlin 1907.* — **E. Baur**, *Kurzer Abriß der Spektroskopie und Kolorimetrie. Leipzig 1907.* — **Krüss**, *Kolorimetrie und quantitative Spektralanalyse. Hamburg 1891.* — **Lummer**, *Die Ziele der Leuchttechnik, München 1903.* — *Siehe auch die bekannteren Lehrbücher der praktischen Physik wie Kohlrausch, Wiedemann-Ebert usw.*

R. Lucas.

Photometrie.

Photographische Photometrie.

1. Verwendung von Auskopierschichten. 2. Verwendung von Entwicklungsschichten.

1. Verwendung von Auskopierschichten. Im Artikel „Photographie" wird gezeigt, daß die Abhängigkeit der Schwärzung einer photographischen Schicht (S) von der Lichtstärke (i) und der Belichtungszeit (t) durch die Formel: $S = B + \log(i^m . t^n)$, wo B, m und n Konstanten sind, dargestellt werden kann. Es ist klar, daß bei Kenntnis dieser Konstanten und der Belichtungsdauer die Stärke des einwirkenden Lichtes sich aus der erzielten Schwärzung berechnen läßt. Dies wäre die einfachste photographisch-photometrische Methode, wenn die Ermittlung der Konstante B nicht mit großen Schwierigkeiten verknüpft wäre, die eine genaue Messung unmöglich machen. Man zieht es deswegen vor, die Belichtungsdauer zu ermitteln, die notwendig ist, um eine bestimmte konstante Schwärzung auf dem gegebenen lichtempfindlichen Material herzustellen. Durch Vergleichen der erzielten Schwärzung mit einer grauen oder braunen lichtecht gefärbten Fläche („Normalton") kann man die gewünschte Zeitdauer bestimmen. Diese photometrische Methode wurde von Bunsen und Roscoe ausgebildet und wird oft (insbesondere in der Meteorologie) benutzt. Bei Anwendung dieser Methode darf keinesfalls außer acht gelassen werden, daß die Exponenten n und m in der obigen Formel je nach dem lichtempfindlichen Material verschieden sind und daß auch das Verhältnis $\frac{n}{m}$ nur innerhalb eines

Digitized by Google

bestimmten Belichtungsintervalls als konstant gefunden worden ist.

Oft wird als konstante Schwärzung diejenige Dichte genommen, die dem menschlichen Auge als Minimum erscheint (vgl. die Ausführungen über den „Schwellenwert" im Artikel „Photographie"). Auf diese Weise kann man das Messen der Schwärzung umgehen. Man braucht nur die Belichtungszeit zu ermitteln, die notwendig ist, um auf der lichtempfindlichen Schicht einen eben noch sichtbaren Eindruck zu erzeugen.

Als lichtempfindliches Material werden entweder nach Bunsen und Roscoe das beständige Salzpapier (Chlorsilber direkt zwischen den Papierfasern eingebettet) oder nach Eder Bromsilberplatten, die mit Kaliumnitrit vorbehandelt wurden, benutzt. Solche Schichten schwärzen sich direkt bei Einwirkung der Lichtstrahlen und bedürfen also nicht der Entwickelung. Sie sind aber nur zur Registrierung verhältnismäßig intensiven Lichtes geeignet (sogenannte Aktinometrie).

Man darf hierbei nicht vergessen, daß auf gewöhnliche photographische Schichten nur die blauen und die violetten Strahlen in der Hauptsache wirken.

Nach Andresen kann man die erwähnten Bromsilberschichten durch Anfärben mit Farbstoffen für langwellige Lichtstrahlen empfindlich machen. Solche orthochromatische Schichten sind für meteorologische Untersuchungen entschieden vorzuziehen.

2. Verwendung von Entwickelungsschichten. Ein weiteres Anwendungsgebiet der photographischen Photometrie ist das Messen von schwachen Lichtstrahlen, deren Stärke auf eine andere Weise überhaupt nicht festgestellt werden kann. Hier ist man auf Verwendung hochempfindlicher Platten und eine nachträgliche Entwickelung angewiesen. Besonders wichtig ist diese photometrische Methode für die Astronomie. Leider sind die großen Erwartungen bis jetzt noch nicht erfüllt worden. Bei praktischer Ausführung treten mancherlei Umstände ein, die den Wert der ermittelten Lichtstärke beeinflussen und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse in Frage stellen. Besonders große Schwierigkeiten entstehen, wenn die für die Messung bestimmten Flächen der photographischen Platte klein sind (etwa unter 1 qmm). Dieser Fall tritt immer ein, falls die photographische Photometrie zur Bestimmung der Lichtstärke von Sternen, Spektrallinien usw. herangezogen wird. Die Messung der Schwärzung einer kleinen Fläche ist an und für sich nicht leicht. Noch wichtiger sind aber die Fehlerquellen, die durch das Wesen der heute zur Verfügung stehenden photographischen Platten bedingt sind. Die Lichtempfindlichkeit ist nicht nur bei verschiedenen Emulsionsnummern einer Plattensorte ungleich, sie wechselt auch nicht unbeträchtlich je nach der Entfernung der zu messenden Stelle vom Rande auf einer und derselben Platte. Die Entwickelung einer Platte ist kaum gleichmäßig zu erzielen, da beim Schaukeln der Entwickelungsschale meist Strömungen in der Flüssigkeit entstehen, die sich später in Gestalt von Streifen auf der fertigen Platte bemerkbar machen. Es ist also außerordentlich schwer, eine größere, dem Lichte auf der ganzen Fläche ausgesetzte Platte so zu entwickeln, daß eine gleichmäßig verteilte Schwärzung entsteht. Diese Fehlerquellen wirken aber nur auf das numerische Ergebnis der Messung. Viel gefährlicher sind die Schwierigkeiten, die beim Ermitteln der Verteilung der Schwärzung innerhalb einer kleinen Fläche entstehen. Dieser Fall tritt z. B. bei allen Versuchen, die Verteilung der Lichtstärke innerhalb einer Spektrallinie zu bestimmen, ein. Im Artikel „Photographie" wurde bei der Besprechung des Auflösungsvermögens gezeigt, daß die Wirkung des Lichtes sich keineswegs auf die vom Lichte scheinbar bestrahlte Fläche begrenzt, sondern daß sie sich bei genügend langer Exposition stark nach den Seiten verbreitet. Das hierbei entstehende Schwärzungsscheibchen hängt in der Größe von der Güte des benutzten Objektivs, von der Plattensorte, von der Expositionszeit usw. ab. Von denselben Umständen hängt auch die Verteilung der Schwärzung innerhalb des Scheibchens ab, so daß die Verteilung der Lichtstärke in der photographierten Erscheinung hierfür am wenigsten in Betracht kommt. Nur die mittlere Lichtstärke kann aus der Größe des geschwärzten Scheibchens ermittelt werden und zwar nur dadurch, daß bei einem Vorversuch Flächen verschiedener bekannter Lichtstärke photographiert und die hierbei entstandenen Scheibchen mit den beim eigentlichen Versuch auf derselben Platte gewonnenen in bezug auf ihren Durchmesser verglichen werden. Auf diese Weise wird z. B. oft in der Astrophotographie die Sterngröße bestimmt.

Die oben erwähnten Fehlerquellen haben die Folge, daß auch bei äußerst sorgfältiger Arbeit die Genauigkeit etwa 5 bis 10% der ermittelten Lichtstärke beträgt. Trotzdem leistet die photographische Photometrie unschätzbare Dienste in allen Fällen, in denen die gewöhnlichen photometrischen Methoden versagen. Dies ist der Fall bei schwachen und räumlich wenig ausgedehnten Leuchterscheinungen, in der Astronomie und insbesondere bei Arbeiten im ultravioletten Teile des Spektrums.

Digitized by Google

Literatur. *J. Scheiner, Photographie der Gestirne. Leipzig 1898 (mit einer ausführlichen Bibliographie).* — **J. M. Eder**, *Ausführliches Handbuch der Photographie, 1. Bd., 3. Teil (Aktinometrie). Halle 1912.* — *Neuere Arbeiten in den Zeitschriften: Annalen der Physik, Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie, Photographische Korrespondenz.*

E. Goldberg.

Photosynthese.

1. Einleitung. 2. Methodik. 3. Assimilationsorgane; Spaltöffnungen. 4. Die Kohlensäure. 5. Der Aufbau der Kohlehydrate und die verschiedenen Assimilate. 6. Das Chlorophyll. 7. Das Licht. 8. Die Temperatur. 9. Einfluß anderer Bedingungen. 10. Historisches.

1. Einleitung. Das gesamte organische Leben läßt sich, vom chemisch-physikalischen Standpunkt betrachtet, als eine Summe eng miteinander verketteter Kreislaufprozesse ansehn. Es nimmt aus dem Anorganischen seine Entstehung und liefert im letzten Grunde die komplizierten Stoffe, die im synthetischen Stoffwechsel der Organismen gebildet werden, wieder in anorganischer Form zurück.

Der fundamentale Prozeß, von dem, sei es direkt oder indirekt, die Existenz aller Lebewesen auf der Erde abhängt, ist die Photosynthese (= Kohlensäureassimilation oder Assimilation im engeren Sinne). Wie der Name sagt, ist es ein Aufbau (Stoffaufbau), der vom Licht abhängt. Der Stoff, von dem der Prozeß ausgeht, ist die Kohlensäure der Luft. Das Licht ist die Quelle der Energie, die diesen Stoff zersetzt und so den gewonnenen Kohlenstoff der Pflanze nutzbar macht. Ausschließlich grüne Pflanzen sind zur Photosynthese befähigt. Sie sind diejenigen Lebewesen, welche in nächster Beziehung zur anorganischen Natur stehen, indem sie aus deren Produkten direkt die zum Leben nötigen organischen Körper (Kohlehydrate, Eiweißstoffe, Fette) aufbauen. Damit beweisen sie einmal ihre Unabhängigkeit von anderen Organismen — man nennt sie deshalb autotrophe —, zweitens ihre Bedeutung als Nahrungsspender für alle die Lebewesen (Tiere und nichtgrüne Pflanzen), welche nicht diese Fähigkeit besitzen und darum heterotrophe heißen.

Nicht allein in ernährungsphysiologischer Hinsicht dokumentiert sich diese Abhängigkeitsbeziehung, sie legt ferner den für die Entwickelungsgeschichte (Phylogenie) des gesamten Organismenreichs außerordentlich wichtigen Schluß nahe, daß es autotrophe, chlorophyllführende Lebewesen waren, die zuerst auf der Erde erschienen sind, und auf die der Ursprung aller anderen zurückzuführen ist.

Wenn eine grüne Pflanze in einem mit (kohlensäurehaltiger) Luft gefüllten, abgeschlossenen Raume dem Licht ausgesetzt wird, so läßt sich alsbald nachweisen, daß der Kohlensäuregehalt der Luft in dem Gefäß abnimmt. Da keine Verminderung des Gasvolumens stattfindet, so kann die Kohlensäure nicht einfach von der Pflanze absorbiert worden sein. Es zeigt sich vielmehr, daß die von der Pflanze aufgenommene Kohlensäure durch ein ebenso großes Volumen Sauerstoff ersetzt worden ist. Da nach dem Avogadroschen Gesetz gleichviel Moleküle verschiedener Gase den gleichen Raum einnehmen, so ist an Stelle je eines Moleküls Kohlensäure ein Molekül Sauerstoff getreten. Es ergibt sich daraus der Quotient $\frac{CO_2}{O_2} = 1$, d. h. das Verhältnis von aufgenommener Kohlensäure zu ausgeschiedenem Sauerstoff ist eins. Dieser Quotient heißt der assimilatorische Koeffizient. — Zugleich folgt hieraus, daß der Kohlenstoff von der Pflanze zurückgehalten wird. Nicht als Element tritt er hier auf, sondern sogleich in Verbindung mit Wasserstoff und Sauerstoff (H_2O), die dem aus dem Boden aufgenommenen Wasser entstammen. Als Endprodukte einer vermutlich längeren Kette von Vorgängen bilden sich in den Chlorophyllkörpern, den eigentlichen Werkstätten des Assimilationsvorganges, Kohlehydrate (Zucker, Stärke). Das Gesagte läßt sich in folgender empirischen Formelgleichung zusammenfassen:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2.$$

$C_6H_{12}O_6$ sei Traubenzucker, was in der Mehrzahl der Fälle zutreffen dürfte.

Es wird im folgenden unsere Aufgabe sein, auf die Einzelheiten der mutmaßlichen chemischen Vorgänge, die den Assimilationsvorgang ausmachen, und auf ihre Abhängigkeit von den verschiedenen äußeren und inneren Bedingungen einzugehen. Hier möge nur folgendes hervorgehoben werden: Es sind vor allen anderen zwei Außenfaktoren, die den Assimilationsvorgang bedingen: das Licht und die Kohlensäure. Ersteres ist die Energiequelle, letztere das zu verarbeitende Material. Wir wollen sie, da sie an dem Prozeß ganz unmittelbar teilnehmen, funktionelle Bedingungen nennen und sie dadurch vor den anderen, den tonischen Bedingungen, herausheben, die als allgemeine Lebensbedingungen zur Verwirklichung eines jeden physiologischen Geschehens gegeben sein müssen. Einer besonderen Erwähnung bedarf endlich das Chlorophyll (Blattgrün) als derjenige Stoff, dessen Gegenwart in

Digitized by Google

der Pflanze zum Stattfinden der Photosynthese unbedingt erforderlich ist.

2. Methodik. Da es, wie wir sehen werden, noch nicht gelungen ist, die einzelnen Phasen der Kohlehydratsynthese, die der Zerlegung der Kohlensäure folgt, kennen zu lernen, so müssen sich die Methoden auf den Nachweis von Teilvorgängen beschränken. Dabei kommen in Frage: 1. der Gaswechsel (Aufnahme von Kohlensäure, Abgabe von Sauerstoff), 2. das Auftreten von Kohlehydraten. Wie überall so ist auch hier zu unterscheiden zwischen solchen Methoden, die nur zum qualitativen Nachweis der Assimilation dienen und solchen, mit denen sich die Assimilationsgröße quantitativ bestimmen läßt.

Von ersteren kennen wir eine große Reihe, die teils die Sauerstoffproduktion, teils die Bildung von Kohlehydraten demonstrieren. In sehr anschaulicher Weise läßt sich die O-Abscheidung bei Wasserpflanzen (Helodea canadensis, Hydrilla verticillata, Cabomba caroliniana, Potamogeton-Arten, Ceratophyllum u. a.) zeigen (Fig. 1). Diese Pflanzen zeichnen sich durch ein von großen Interzellularen durchsetztes Gewebe und durch eine von Wasser und Gasen leicht passierbare (nicht kutinisierte) Oberhaut aus. Bringt man einen abgeschnittenen Teil einer solchen Pflanze (Helodeasproß, Cabombablatt) in CO_2-haltiges Wasser und exponiert ihn dem Licht, so steigen an der Schnittfläche aus den Interzellularen Gasblasen auf (Sachs 1864). Der bei der Assimilation produzierte Sauerstoff wird zu einem großen Teil in die Interzellularen abgeschieden und erzeugt dort einen Ueberdruck. Sobald dieser Ueberdruck die Kapillarkräfte, welche an der Schnittfläche dem Gasaustritt entgegenstehen, übersteigt, werden Blasen ausgeschieden. Mit Vorteil verwendet man zu diesem Versuch eine Auflösung von 1% Kaliumbikarbonat in abgestandenem destilliertem Wasser (Begründung hierfür s. Abschnitt 4). Die aufsteigenden Gasblasen lassen sich in einem übergestülpten, mit Wasser gefüllten Reagenzrohr auffangen (Fig. 1). Das Aufglühen eines eingebrachten glimmenden Spans gibt den Sauerstoffreichtum des Gases zu erkennen. Aus verschiedenen, hier nicht näher zu erörternden Gründen ist allerdings das Gas niemals reiner Sauerstoff, und zwar ist der prozentuale O-Gehalt um so geringer, je langsamer die Blasen aufsteigen. Deshalb ist das Aufglühen des Spans auch nur bei relativ reger Blasenausscheidung gut zu beobachten. — Wird die Pflanze verdunkelt, so hört der Gasstrom sofort auf, ein Beweis für die Abhängigkeit der Assimilation vom Licht. Ferner läßt sich leicht nachweisen, daß bei Abwesenheit von Kohlensäure keine Blasen produziert werden. In ausgekochtem destilliertem Wasser assimiliert die Pflanze nicht. Man kann auch die Assimilation in CO_2-haltigem Wasser trotz Beleuchtung der Pflanze sofort zum Stillstand bringen, wenn man durch Zusatz von Kalk- oder Barytwasser (Auflösung von $Ca(OH)_2$ oder $Ba(OH)_2$) die freie CO_2 als $CaCO_3$ oder $BaCO_3$ ausfällt. Die Pflanze erleidet hierdurch keine Schädigung, was sich darin zeigt, daß sie alsbald zu assimilieren beginnt, wenn sie wieder in CO_2-haltiges Wasser übertragen wird.

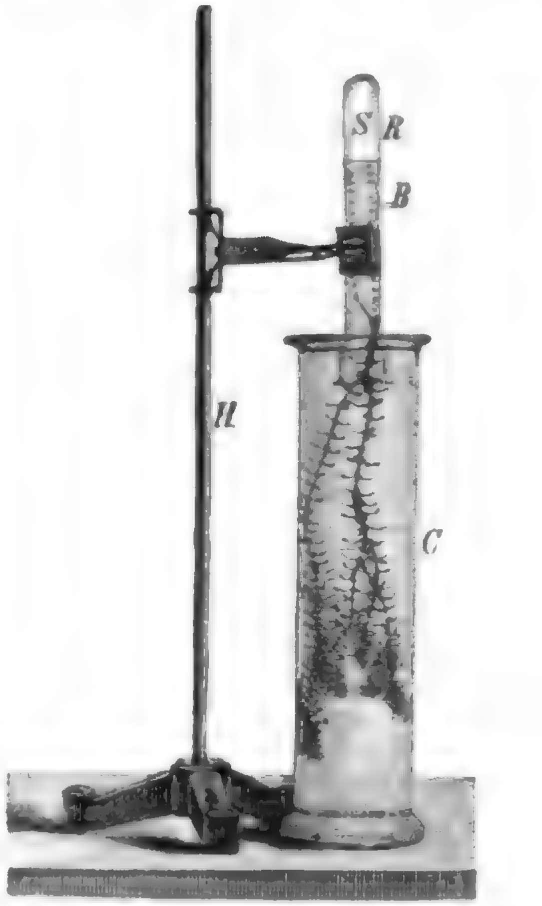


Fig. 1. Nach Jost. Aus dem „Bonner Lehrbuch". Ausscheidung von Sauerstoff durch assimilierende Pflanzenteile. In dem Glaszylinder C befindet sich in Bicarbonatlösung eine frisch abgeschnittene Wasserpflanze (Helodea canadensis). Die Schnittflächen sind in ein mit der gleichen Lösung gefülltes Probierröhrchen R eingeführt. Die ausgeschiedenen Sauerstoffbläschen B steigen darin auf und sammeln sich oben bei S.

In sehr einfacher Weise läßt sich die Kohlensäureassimilation bei Fadenalgen (Cladophora, Mougeotia und anderen) demonstrieren. Die Algen sind an sich spezifisch schwerer als Wasser, sinken also unter. Daß sie dennoch sehr häufig an der Oberfläche in Watten schwimmen, beruht auf der Sauerstoffausscheidung. Die Gasblasen adhärieren an den Algen, fangen sich in der Fadenmasse und reißen diese mit sich empor. Im Experiment läßt sich leicht zeigen, daß dieses Aufsteigen nur bei Beleuch-

Digitized by Google

tung der Algen erfolgt. — Die Eigenschaft verschiedener Körper, sich bei Gegenwart von Sauerstoff sichtbar zu verändern, ist ebenfalls mehrfach zum Nachweis der Kohlensäureassimilation verwandt worden. Bekanntlich leuchtet Phosphor in Anwesenheit von Sauerstoff auf. Bringt man ein Blatt in ein verdunkeltes Glasgefäß, in dem sich ein Stück Phosphor befindet und belichtet, nachdem zuvor der Sauerstoff völlig entfernt ist, so leuchtet der Phosphor infolge der O-Produktion durch die Pflanze (Boussingault). In ähnlicher Weise kann zu demselben Zweck Indigweiß verwendet werden. Beijerinck, der diese Methode mit Erfolg bei Algen benutzt hat (1890), schwemmte die (einzelligen) Algen in einer bei Zimmertemperatur erstarrenden Gelatinelösung auf, welcher neutrales indigschwefelsaures Natrium zugesetzt war. Das letztere wurde durch Zusatz von Natriumhydrosulfit (im Ueberschuß) zu Indigweiß reduziert. Bei Beleuchtung oxydiert der von den Algen gebildete Sauerstoff das Indigweiß, was an der um die Algen herum auftretenden Blaufärbung sofort erkennbar ist. — Schließlich sei auf eine dritte derartige Methode hingewiesen, die von Hoppe-Seyler (1879) stammt. Sie bedient sich des charakteristischen Unterschieds im Absorptionsspektrum zwischen Hämoglobin und Oxyhämoglobin. In ein mit Wasser nahezu gefülltes Glasrohr wird ein Helodeazweig gebracht und dem Wasser etwas faulendes Blut zugesetzt. Das Glasrohr wird dann zugeschmolzen. Das zunächst noch nachweisbare Spektrum des Oxyhämoglobins schwindet im Dunkeln, sobald infolge der Atmung der Fäulnisbakterien und der Helodea aller Sauerstoff verbraucht ist. Es zeigt sich jetzt im Spektrum der charakteristische Absorptionsstreifen des Hämoglobins. Als Indikator für die Assimilation der Pflanze treten nach Beleuchtung alsbald die zwei Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobins auf.

Auch sogenannte biologische Methoden sind zum Nachweis der O-Produktion benutzt worden. Einmal hat man sich der bekannten Eigenschaft der Leuchtbakterien bedient, nur bei Gegenwart freien Sauerstoffs zu leuchten. Beijerinck (1901) impfte zu Reinkulturen von Grünalgen (Chlorella) Leuchtbakterien und fand, daß diese bei Luftabschluß nur dann leuchteten, wenn die Algen assimilieren konnten. Einen Beweis für die hohe Empfindlichkeit dieser Reaktion erbrachte Molisch (1904), indem er zeigte, daß es genügt, eine mit Leuchtbakterien versetzte sauerstoffreie Algenkultur während einer Sekunde aus 10 cm Entfernung mit einem Streichholz zu beleuchten, um die Bakterien zur Lichtproduktion zu veranlassen. Die Assimilation ist unter diesen Umständen gewiß äußerst schwach, übertrifft aber doch den ständig vor sich gehenden inversen Prozeß der Atmung.

Es ist das Verdienst von Engelmann (1881), eine Methode ausgearbeitet zu haben, welche sich die Sauerstoffempfindlichkeit gewisser Bakterien zunutze macht und sich für viele Zwecke als äußert brauchbar erwiesen hat (Bakterienmethode). Das zu untersuchende Objekt (Algenfaden u. a.) wird auf einem Objektträger in eine bakterienhaltige Flüssigkeit gebracht. Um Luftzufuhr zu vermeiden, werden die Ränder des Deckglases mit Vaseline abgedichtet. Zuerst schwärmen die Bakterien gleichmäßig in dem Präparat umher. Schon bald macht sich jedoch der Konzentrationsunterschied im O-Gehalt in der Umgebung der assimilierenden Alge und den übrigen Teilen des Präparats geltend, wo der Sauerstoff von den Bakterien veratmet worden ist, ohne neu ersetzt zu sein. Die Bakterien sammeln sich in Schwärmen um die Alge herum an (Aërotaxis). Da ihre Bewegungsfähigkeit vom Vorhandensein von Sauerstoff abhängt, sieht man nach einiger Zeit nur noch in der direkten Umgebung der Alge bewegliche Bakterien, in den übrigen Teilen des Präparats liegen sie bewegungslos. Wenn das Präparat verdunkelt wird, so tritt dieser Starrezustand auch in der Nähe der Alge ein; bei Beleuchtung wird jedoch die Bewegungsfähigkeit sogleich wieder geweckt. Mit dieser Methode lassen sich ebenfalls äußerst geringe Spuren Sauerstoff nachweisen (1 Hundertbillionstel mg), die weit entfernt sind, mit den Hilfsmitteln der chemischen Analyse bestimmbar zu sein.

Um sich von der im Lichte vor sich gehenden Stärkebildung in Laubblättern zu überzeugen, bedient man sich der Sachsschen Jodprobe (1884). Nach etwa zweitägiger Verdunkelung ist aus der Blättern nahezu alle Stärke in Form von Zucker nach dem Stengel abgeleitet worden (vgl. Abschnitt 5). Beleuchtet man ein solches Blatt zur Hälfte, während die andere Hälfte dunkel (mit Stanniol bedeckt) bleibt, so läßt sich im belichteten Teil sehr bald Stärke nachweisen. Das Blatt wird zuerst schnell in kochendem Wasser abgetötet, dann in heißen Alkohol gelegt, bis der Chlorophyllfarbstoff extrahiert ist. Nach Abspülen in Wasser gelangt es dann in eine Jod-Jodkaliumlösung. Die stärkefreie Hälfte erscheint gelblich, während die andere einen tiefdunkelbraunen Farbton annimmt. Mit dem gleichen Erfolge läßt sich das Experiment ausführen, wenn man das Blatt nach der Alkoholbehandlung in eine jodhaltige Lösung von Chloralhydrat legt.

Handelt es sich um Blätter, welche keine Stärke bilden, sondern Zucker speichern (Näheres s. Abschnitt 5), so kann man

Digitized by Google

sich zum qualitativen Nachweis der Assimilationsprodukte der Eigenschaft vieler Zuckerarten bedienen, Kupferoxydsalze in alkalischer Lösung zu reduzieren. Das Reduktionsprodukt (Cu_2O) wird als roter Niederschlag ausgefällt (Trommersche Probe; Fehlingsche Lösung). Die Blätter sind in kleine Stücke zu schneiden, aus denen der Zucker in kochendem Wasser schnell extrahiert wird. Liegt Rohrzucker vor, so tritt die Reduktion der Fehlingschen Lösung erst nach vorhergegangener hydrolytischer Spaltung (Kochen mit verdünnten Säuren) ein.

Die bisher besprochenen (qualitativen) Methoden lassen sich zum Teil auch dazu verwerten, die Intensität der Assimilation zu bestimmen. Will man nur gewisse Vergleichswerte erhalten, so gibt die Gasblasenmethode schon einige Anhaltspunkte, denn die Zahl der aufsteigenden Blasen wird pro Zeiteinheit eine umso größere sein, je stärker die Pflanze assimiliert. Doch ist diese Zahl der Assimilationsgröße nicht ohne weiteres proportional zu setzen, da die hierzu nötige Voraussetzung, daß der prozentuale Sauerstoffgehalt bei schnellem und langsamem Blasenstrom der gleiche ist, nicht zutrifft. Absolute Werte sind nur durch quantitative Analyse des Gasgehalts zu gewinnen. Es stellt sich dann heraus, daß die Gasblasen bei intensiver Assimilation relativ mehr Sauerstoff enthalten als bei schwacher. Zu beachten ist ferner, daß außer dem in Blasenform aufsteigenden Gas auch das Wasser auf seinen Sauerstoffgehalt zu untersuchen ist, und bei korrekter Versuchsanstellung natürlich zu vermeiden ist, daß letzterer durch unkontrollierbare Einflüsse Veränderungen erleidet. Blackman und Smith haben neuerdings (1911) einen Apparat konstruiert, um die Assimilationsgröße von Wasserpflanzen zu bestimmen. Wir wollen hier auf die Beschreibung ihres Apparats verzichten, da man auch auf folgendem, einfacherem Wege mit der gleichen Genauigkeit arbeiten kann. Die Pflanze (Helodeasproß) wird in eine Küvette (K, Fig. 2) gebracht, welche mit Wasser, das am Standort der Pflanze geschöpft und vorher filtriert worden ist, gefüllt ist. Die Wasseroberfläche wird mit einer etwa 0,5 cm dicken Schicht Paraffinöl bedeckt (P). Auf derselben befindet sich ein Schwimmer (S) in Gestalt eines Korks, durch welchen ein Stück Glasrohr geführt ist. Letzteres taucht mit dem unteren Ende in das Wasser, mit dem oberen ragt es über die Oelschicht. Vor dem Versuche wird in eine Flasche mit bekanntem Inhalt mit Hilfe des Hebers (H) Wasser abgefüllt; nach kurzer Durchspülung wird dieselbe fest verschlossen (mit eingeschliffenem Glasstopfen). Dasselbe geschieht sogleich nach dem Versuch, nachdem durch vorsichtiges Umrühren für gleichmäßige Verteilung des im Wasser gelösten O gesorgt ist. In beiden Flaschen wird der O-Gehalt nach der sehr einfachen und genauen Methode von L. W. Winkler (1888, vgl. Treadwell, Analytische Chemie II, 4. Aufl., S. 565) bestimmt.

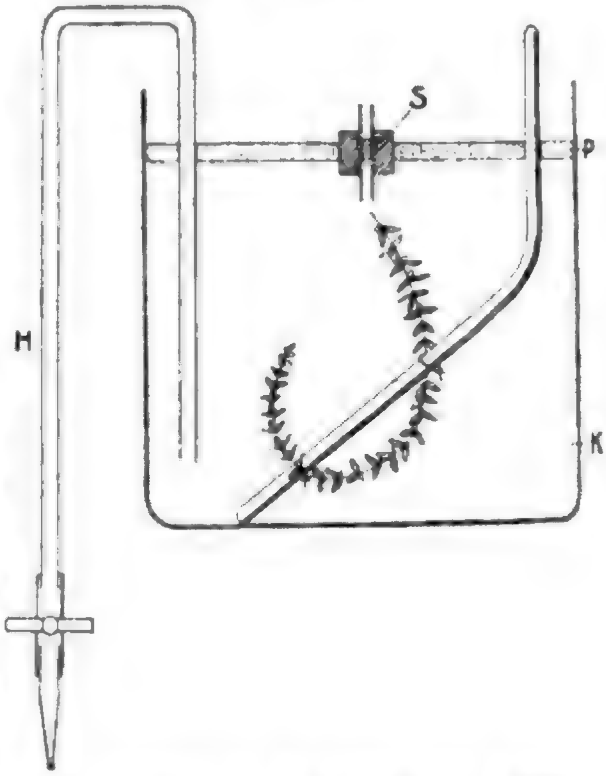


Fig. 2. Apparat zur Bestimmung der Assimilationsgröße von Wasserpflanzen.

Ferner muß das in Blasenform ausgeschiedene Gas analysiert werden. Bei konstantem Licht bleibt der Blasenstrom und dessen Zusammensetzung konstant. Daher sind nur von Zeit zu Zeit Analysen eines bestimmten aufgefangenen Gasvolumens nötig. Mit großer Präzision lassen sich äußerst geringe Gasmengen (3 bis 6 cmm) mit dem Apparat von Krogh (1908) in wenigen Minuten ausführen. Der untere Teil des in Figur 3 abgebildeten Apparats wird in das Rohr des Schwimmers eingeführt, nachdem hier mit einer Wasserstrahlpumpe die Paraffinölschicht abgesaugt worden ist. Nachdem eine genügende Gasmenge aufgefangen ist, wird der Apparat entfernt und das Gas analysiert. Die Paraffinölschicht im Schwimmer muß sofort erneuert werden. Bei Beachtung aller Vorsichtsmaßregeln erhält man so sehr genaue Werte für den CO_2-Verbrauch der Pflanze.

Um die Assimilationsgröße von Landpflanzen zu untersuchen, verfährt man gewöhnlich so, daß man die Pflanze oder den Pflanzenteil (Blatt) in einem geschlossenen Raum unterbringt, dessen Gasgehalt vor und nach dem Versuch mit Hilfe der gebräuchlichen, zuerst von Bunsen ausgearbeiteten,

Digitized by Google

neuerdings vielfach verbesserten Methoden (Hempelsche Büretten) bestimmt wird.

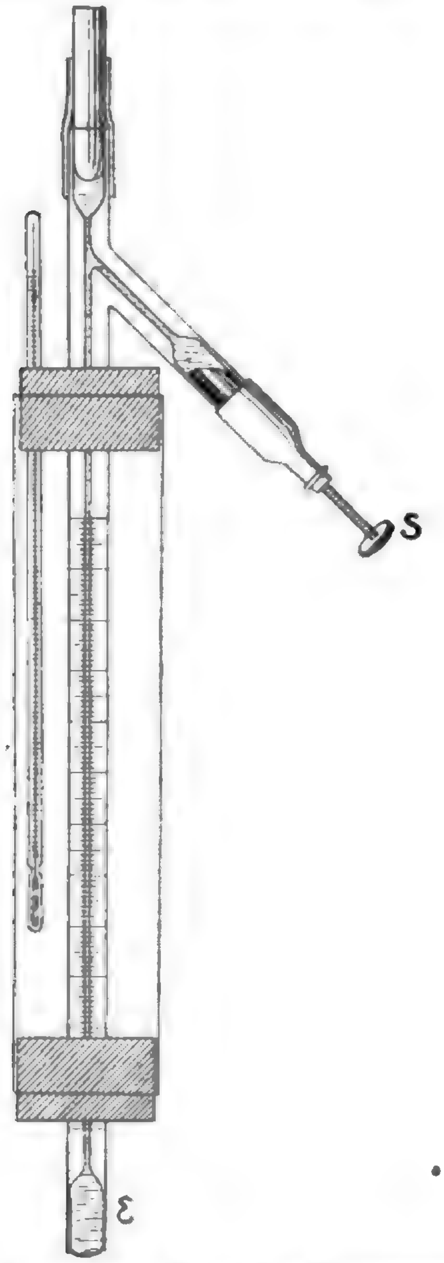


Fig. 3. Apparat von Krogh zur Mikrogasanalyse. Das in E aufgefangene Gas wird durch Zurückdrehen der Schraube S in das Kapillarrohr gesaugt und dort das Volumen abgelesen. Darauf wird das in E befindliche Wasser durch Kaliumpyrogallatlösung ersetzt, das Gas nach E zurückgebracht. Nach stattgefundener O-Absorption wird im Kapillarrohr wiederum das Volumen bestimmt. Wenn das Gas CO_2-frei war, ergibt die Differenz der Ablesungen den O-Gehalt. Anderenfalls ist in gleicher Weise vorher der CO_2-Gehalt mit Kalilauge zu bestimmen. Die das Kapillarrohr umgebende Hülle enthält Wasser zur Konstanthaltung der Temperatur. Nähere Beschreibung siehe in der Arbeit von Krogh.

Näheres hierüber ist nachzusehen bei Pfeffer, Pflanzenphysiologie I, 2. Aufl. 1897, S. 292, ferner in den zahlreichen Arbeiten Fr. Blackmans und seiner Schule, wo einige sehr exakte Methoden angegeben sind.

Einen anderen Weg hat Sachs (1883) eingeschlagen. Er bestimmte die Trockengewichtszunahme, welche aus der Menge der gespeicherten Stärke und anderer Kohlehydrate resultiert. Er verfuhr dabei so, daß er aus der einen Hälfte des Blattes vor, aus der anderen nach dem Versuch genau gleichgroße Stücke ausschnitt, diese trocknete und wog. Die Gewichtsdifferenz ist gleich der Menge der angesammelten Assimilate. Es ist nötig, die Blätter vor dem Versuch abzutrennen, da sonst wegen der ständig stattfindenden Ableitung der Kohlenhydrate nach dem Stamm zu geringe Werte gefunden werden würden. Die Sachssche Methode ist neuerdings von Thoday (1910) einer eingehenden kritischen Prüfung unterzogen worden mit dem Ergebnis, daß sie sich bei genauer Beachtung der Fehlerquellen für viele Zwecke als sehr geeignet erweist.

3. Assimilationsorgane. Spaltöffnungen. Wenngleich alle chlorophyllhaltigen Teile der Pflanzen zur Photosynthese befähigt sind, so fehlt es im Pflanzenreich doch nicht an Organen, die für diese Funktion ganz besonders angepaßt sind. Bei den Cyanophyceen und den grünen, braunen oder roten Fadenalgen ist allerdings noch keine ausgesprochene Differenzierung in diesem Sinne vorhanden, auch bei vielen anderen Algen nicht. Doch hat bereits Caulerpa großflächige, blattartige Organe, die zweifellos stärker assimilieren als die Rhizome, denen sie aufsitzen. Dasselbe gilt für die Rotalge Hydrolapathum sanguineum u. a. Bei vielen Braunalgen (Asperococcus, Scytosiphon, Colpomenia und vielen anderen) finden sich an der Oberfläche des Thallus Haarbildungen, die an Chromatophoren besonders reich und ihrer Funktion entsprechend von Reinke Assimilatoren genannt worden sind. Ganz allgemein finden wir bei allen höher organisierten Algen, welche mehr oder weniger kompliziert gebaute Zellkörper bilden, daß die äußeren Gewebeschichten als Assimilationsgewebe ausgebildet sind. Die Zellen desselben unterscheiden sich von den tiefer liegenden durch Chromatophorenreichtum, regelmäßigere, manchmal palisadenartige Form und dichte Lagerung (Fucus, Laminaria, Desmarestia; Rhodomela, Odonthalia usw.).

Bei vielen thallosen Lebermoosen ist ein ausgesprochenes Assimilationsgewebe an der Oberseite des Thallus entwickelt. (s. Fig. 4 und den Artikel „Moose"). Bei andern Lebermoosen (Foliose Jungermanniales) und bei den Laubmoosen ist eine Gliederung in Stamm und Blätter vorhanden. Polytrichum hat ein Assimilationsgewebe in Form von einschichtigen Zelleisten, die auf der Blattoberfläche

Digitized by Google

senkrecht stehen. Bei den Gefäßpflanzen sind die Laubblätter in ihren verschiedenen Formen („Wedel" der Farne, „Nadeln" der Coniferen usw.) die typischen Assimilationsorgane. Nur in relativ wenigen Fällen treten analoge Organe an ihre Stelle (metamorphosierte Stengel, die blattartig entwickelt sein können [Phyllocladien], oder flächenförmige Blattstiele [Phyllodien]. Näheres siehe in den Artikeln „Blatt" und

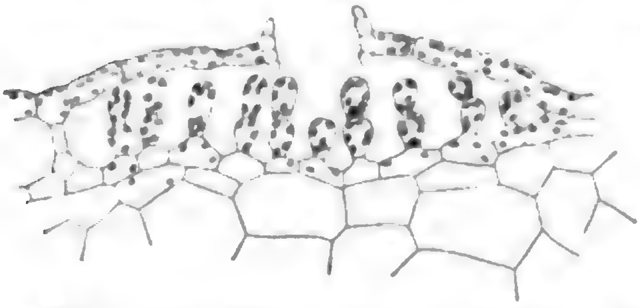


Fig. 4. Querschnitt durch eine Luftkammer des Thallus von Marchantia polymorpha. In den mit einer tonnenförmigen Spaltöffnung nach außen mündenden Raum ragen die chlorophyllreichen Assimilationszellen.

„Sproß"). Da die Assimilation vom Licht abhängt, so wird diejenige Blattgestalt als die zweckmäßigste gelten müssen, die das Licht am besten ausnutzt. Das ist die Flächenform. Sie begegnet uns daher bei den meisten Laubblättern. Da, wo sie nicht auftritt, darf indessen nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß wir es mit unzweckmäßigen Einrichtungen zu tun hätten. Hier fallen andere Umstände, vor allem der notwendige Transpirationsschutz ins Gewicht. Viele Pflanzen trockener Standorte (Xerophyten) würden wegen zu starken Wasserverlustes zugrunde gehen, wenn sie großflächige Blätter entwickeln würden. Was der Pflanze so an äußerer Oberfläche verloren geht, kann bis zu einem gewissen Grade durch innere Oberflächenvergrößerung ersetzt werden, wie z. B. bei der Kiefernadel. Auch bei ein und derselben Pflanzenart zeigen sich oft je nach dem Standort Verschiedenheiten in der Flächenausdehnung der Blätter. An Exemplaren, die im Schatten wachsen, sind die Blätter oft weit größer als an intensiv beleuchteten (Schattenblätter, Sonnenblätter vgl. den Artikel „Blatt"). Nicht allein durch die äußere Form der Blätter, sondern auch durch die Stellungsverhältnisse derselben und durch ihr phototropisches Reaktionsvermögen wird eine zweckmässige Ausnutzung des Lichtes gewährleistet. Es ist in diesem Sinne nicht ohne Bedeutung, daß z. B. bei Quirlstellung in der Regel die Blätter eines Quirls in der Mitte zwischen je zwei Blättern des nächstoberen und -unteren Wirtels stehen. Wie im einzelnen die Lichtausnutzung der Blätter mit den Blattstellungsverhältnissen zusammenhängt, hat Wiesner in seinen wichtigen Studien über den Lichtgenuß (das ist derjenige Bruchteil der Intensität des Tageslichts, den die Pflanze an ihrem Standort empfängt) der Pflanzen (1907) ausführlich behandelt (vgl. auch den Artikel „Lebensbedingungen der Pflanzen"). Wir müssen uns versagen, darauf hier näher einzugehen, erwähnen nur noch, daß in der Natur jede Pflanzenart auf einen bestimmten minimalen Lichtgenuß abgestimmt ist. Wird er unterschritten, so geht die Pflanze zugrunde und die Hauptursache dieses Eingehens dürfte in den meisten Fällen die zu geringe Kohlensäureassimilation sein.

Der Phototropismus der Blätter ist im allgemeinen ein transversaler, d. h. das Blatt stellt sich senkrecht zum stärksten diffusen Licht (vgl. den Artikel „Reizerscheinungen der Pflanzen). Besonders augenfällig ist die Bedeutung dieser Erscheinung für die Assimilation da, wo durch die natürliche, durch die Blattstellung bedingte Lage das Blatt in eine sehr ungünstige Lichtlage gelangen würde. Die Blätter kriechender Sprosse (Ajuga reptans, Lysimachia Nummularia u. v. a.) würden, wenn sie ihre ursprüngliche „normale" Stellung beibehielten, teilweise von der Unterseite beleuchtet werden, teilweise würde das Licht die Oberfläche in einem sehr spitzen Winkel treffen oder gar parallel der Spreite laufen. Durch Torsion der Internodien und Blattstiele ist hier nun erreicht, daß die Blätter nur 2 Zeilen bilden und ihre Oberfläche annähernd parallel dem Erdboden gerichtet ist, sich also unter günstigen Beleuchtungsbedingungen befindet.

Betrachten wir ganz kurz den inneren Bau der Blätter, so zeigt sich auch hier im Hinblick auf die Assimilation eine zweckmäßige Ausgestaltung. Haberlandt hat diesem Punkte besondere Aufmerksamkeit gewidmet und für die verschiedenen Bauarten des assimilierenden Gewebes (Assimilationssystems) eine Klassifikation geschaffen. An einem Laubblatt lassen sich, wie des näheren in den Artikeln „Blatt" und „Gewebe der Pflanzen" nachgesehen werden möge, abgesehen von der Epidermis und den Gefäßbündeln, meist zwei Gewebeschichten unterscheiden: das der Oberseite zugekehrte Palisadengewebe und das zwischen diesem und der unterseitigen Epidermis gelegene Schwammparenchym (Fig. 5). Die Palisadenzellen sind infolge ihrer Lagerung, Form (Längsstreckung und Oberflächenvergrößerung gegenüber den rundlichen Schwammparenchymzellen) und ihres Chlorlactengehalts ganz besonders an die assimilatorische Funktion angepaßt und werden deshalb als Assimilationsgewebe bezeichnet.

Da, wo bei den Assimilationszellen die

Digitized by Google

kubische oder kugelige Form vorherrscht, kann in anderer Weise für Oberflächenvergrößerung gesorgt sein (Membranlamellen in den Zellen der Kiefernnadeln). In anderen Fällen ist indessen eine derartige Kompensation nicht vorhanden. Dann ist eben entweder die spezifische assimilatorische Leistungsfähigkeit (spezifische Assimilationsenergie) der Zellen relativ hoch und bedarf keiner weiteren Unterstützung in Gestalt besonderer Ausgestaltung der Zellen; oder es handelt sich, wenn das nicht der Fall ist, um Pflanzen, deren Wachstum und Stoffwechsel träge ist, und die daher keiner sehr ausgiebigen Zufuhr von Assimilaten bedürfen. Das trifft z. B. für die Crassulaceen zu.

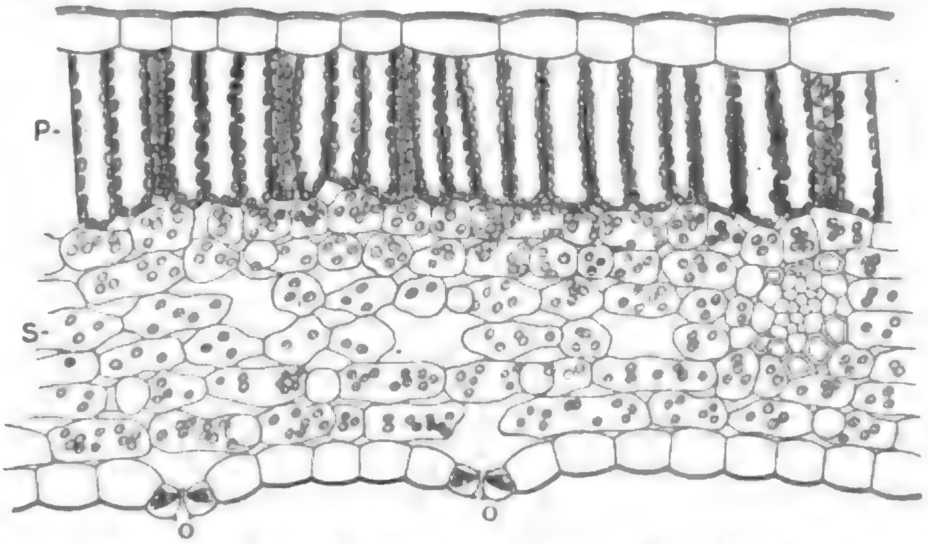


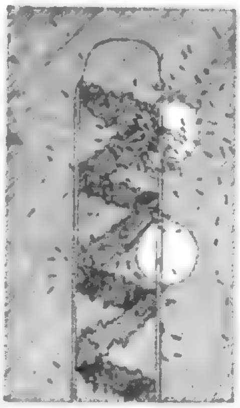
Fig. 5. Querschnitt durch ein Blatt von Helleborus. P = Palisadenschicht. S = Schwammgewebe. O = Spaltöffnungen.

Auf den feineren Bau der Chromatophoren und die verschiedenen Ansichten, die über die Art der Verteilung des Pigments in der farblosen, plasmatischen Grundmasse (dem Stroma) geäußert worden sind, kann hier nicht eingegangen werden (vgl. den Artikel „Zelle“). Ueber das Chlorophyll selbst wird im Abschnitt 6 Näheres mitgeteilt werden. Wir begnügen uns damit, festzustellen, daß nach den bisherigen Erfahrungen die Photosynthese ein Lebensvorgang ist, der auf die Dauer nur stattfinden kann, wenn auch das Plasma funktionsfähig ist. Wird die Tätigkeit des Plasmas ganz oder zeitweise gehemmt, so hört die Pflanze auch bei günstiger Beleuchtung auf zu assimilieren. Auch die Stärkebildung in den Chromatophoren, die an und für sich im Dunkeln stattfinden kann, wird dann sistiert.

Die früher namentlich von N. Pringsheim bestrittene Auffassung, daß die Photosynthese in den Chloroplasten selbst vor sich geht, kann jetzt als erwiesen gelten. Mit der Bakterienmethode läßt sich zeigen, daß isolierte Chloroplasten im Licht noch eine Zeitlang Sauerstoff ausscheiden. Bei Beleuchtung einer Spirogyrazelle sammeln sich die Bakterien an den Wandpartien, die dem spiraligen Chlorophyllband entsprechen. Figur 6 zeigt, daß Ansammlung nur in dem beleuchteten Kreis stattfindet, der den Chloroplasten trifft. Den Assimilationsprozeß unter alleiniger Heranziehung der Faktoren, die in der Natur auf die Pflanze wirken, außerhalb derselben durchzuführen, ist bisher nicht gelungen.

In ökologischer Hinsicht sind von ganz besonderem Interesse die Gestalt- und Lageveränderungen der Chlorophyllkörper unter dem Einfluß des Lichts. Darauf hat namentlich Stahl (1880) hingewiesen. Senn hat neuerdings (1908) diese Erscheinungen einer

Fig. 6. Spirogyrazelle; an zwei kreisförmigen Stellen beleuchtet; Bakterienansammlung nur am Chlorophyll. Vergrößerung 250. Aus Jost. Nach Engelmann.



sehr eingehenden Untersuchung unterworfen über die im Artikel „Reizerscheinungen der Pflanzen“ (Taxieen) berichtet ist.

Noch andere Gewebe als die oben besprochenen sind für die Photosynthese von größter Wichtigkeit, wenn sie auch nicht direkt als Assimilationsorgane angesprochen werden können. Es sind das diejenigen, welche die Eingangspforten der Kohlensäure liefern und somit naturgemäß an der Oberfläche der assimilierenden Organe liegen. Diese Eingangspforten sind die als Spaltöffnungen bekannten Apparate. In bezug auf Bau und Funktion derselben müssen wir uns auf wenige Andeutungen beschränken. Alle Einzelheiten sind in dem Artikel „Gewebe der Pflanzen“ nachzusehen. Zwei meist halbmondförmige Epi-

Digitized by Google

dermiszellen (Schließzellen) begrenzen eine schmale elliptische Oeffnung. Die besonderen, asymmetrischen Wandverdickungen (s. Fig. 5 bei O) und das Vorhandensein von sogenannten Gelenken, welche den Schließzellen eine gewisse Bewegung gestatten, ermöglichen es, daß bei Turgorsenkung Verschluß (Aneinanderpressen der Zellen), bei Turgorsteigerung Oeffnung des Spalts erfolgt.

Die Frage, die uns hier vor allem interessiert, ist: inwieweit wird durch die Spaltöffnungen ausreichende Kohlensäurezufuhr vermittelt und wie ist es insbesondere möglich, daß bei dem im Verhältnis zur Gesamtoberfläche so geringen Raum, den diese Oeffnungen einnehmen (er beträgt 1 bis 3% der Blattoberfläche), die Blätter mit genügenden Mengen CO_2 versorgt werden können, um eine so erhebliche Gewichtszunahme an Kohlehydraten zu erfahren, wie sie tatsächlich beobachtet worden ist. Sachs (1883) gibt unter anderem an, daß Helianthus annuus pro qm Blattfläche bei heller Beleuchtung sein Gewicht in der Stunde um 1,684 g vermehren kann. A. Müller (1904) und Thoday (1910), der mit verbesserten Methoden arbeitete, fanden ähnliche Werte.

Bedenkt man zudem, daß die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre eine äußerst geringe ist (0,03 Vol.-Proz.), so möchte gewiß die Annahme berechtigt erscheinen, daß die Spaltöffnungen nicht die einzigen Eingangswege der CO_2 sind, daß vielmehr auch die Cuticula einen erheblichen Teil durchläßt. Dem ist indessen nicht so. Wenigstens spielt die äußerst geringe Menge atmosphärischer CO_2, die die Cuticula passieren kann, für die Photosynthese keine Rolle. Bestreicht man die spaltöffnungsführende Unterseite von stärkefreien Blättern mit einem Gemisch von Wachs und Kakaobutter, wodurch die Spaltöffnungen verschlossen werden, so läßt sich auch bei günstigster Beleuchtung keine Neubildung von Assimilaten wahrnehmen. Erzeugt man jetzt an der Oberfläche durch kleine Einschnitte künstliche Spaltöffnungen, so sieht man alsbald in den Zellen, die in deren Umgebung liegen, Stärke auftreten (Stahl 1894). Auch an gewelkten Blättern bleibt die Kohlehydratproduktion aus: es ist das auch hier Folge des Spaltenschlusses (Nagamatz 1887). In Bestätigung dieser Tatsachen hat Blackman (1895) auch gasanalytisch den Nachweis geführt, daß Blätter, die nur unterseits Spaltöffnungen führen, mit der Oberseite unter normalen Bedingungen keine CO_2 aufnehmen. Er operierte in der Weise, daß er auf Ober- und Unterseite des Blattes luftdicht flache Gefäße aufsetzte und durch diese Luftmengen von bekanntem CO_2-Gehalt saugte. Die über die Oberseite geleitete atmosphärische Luft zeigte keine Veränderung, die über die Unterseite geleitete dagegen wurde eines großen Teiles ihres CO_2 beraubt.

Die Vorfrage, ob in der Natur cuticulare Assimilation in Betracht kommt oder nicht, kann also als erledigt gelten. Unter natürlichen Bedingungen spielt sie sicher keine Rolle. Nur dann, wenn der CO_2-Gehalt der Luft künstlich erhöht wird, läßt sich bei Verschluß der Stomata geringe Stärkebildung nachweisen; davon wollen wir jetzt aber absehen.

Um nun zu entscheiden, in welcher Weise die CO_2 durch die Spaltöffnungen zugeführt wird, bedurfte es einiger Vorarbeiten physikalischer Natur über die Diffusion von Gasen durch fein durchlöcherte Membranen. Wir verdanken vor allem den grundlegenden Untersuchungen von Brown und Escombe (1900) nähere Aufklärung hierüber. Es hat sich dabei ergeben, daß die Größe der Diffusion nicht eine Funktion der Fläche des Porus ist, durch welchen das Gas diffundiert, sondern dem Radius proportional ist. Handelt es sich wie bei den Spaltöffnungen um elliptische Poren, so ist die Diffusion proportional dem Radius desjenigen Kreises, der den gleichen Flächeninhalt hat wie die Ellipse. Nehmen wir, um die praktische Bedeutung dieses Satzes zu zeigen, an, wir hätten eine ebene Fläche, die von 100 gleichgroßen kreisförmigen Poren durchbrochen ist. Auf der einen Seite der Fläche befinde sich atmosphärische Luft, an die andere grenze eine Lösung, welche CO_2 absorbiert. Diese steht also mit der Atmosphäre nur durch die Poren in Verbindung und wird dort die CO_2 der Luft an sich reißen. Bedingung sei ferner, daß die Poren sehr weit voneinander entfernt sind, so daß die zu jedem Porus diffundierende CO_2-Menge durch die Diffusionsströme der anderen in keiner Weise beeinflußt wird. Ein zweiter Versuch wird in der Weise angesetzt, daß an Stelle der 100 Poren eine einzige kreisförmige Durchbrechung vorhanden ist, deren Fläche ebenso groß ist als die Gesamtfläche der 100 kleinen Poren. Wenn die Diffusion der Fläche proportional wäre, so würde in beiden Fällen von der Flüssigkeit gleich viel CO_2 absorbiert werden. In Wirklichkeit ist indessen, vorausgesetzt daß die Luft völlig unbewegt ist, die absorbierte Menge im letzteren Falle zehnmal geringer, und das entspricht dem Verhältnis der Radien; denn aus der Gleichung $100r^2\pi = R^2\pi$ ergibt sich, daß $R = 10r$; folglich ist $100r : R = 10 : 1$. Dieses auf den ersten Blick sehr merkwürdige Ergebnis wird einigermaßen plausibel, wenn wir bedenken, daß die Diffusion in den Porus nicht geradlinig erfolgt, sondern in Form von Kurven; es lagern

Digitized by Google

sich über den Porus ellipsoidische Flächen gleicher Dichte, wodurch eine sogenannte Kuppenbildung zustande kommt. Figur 7

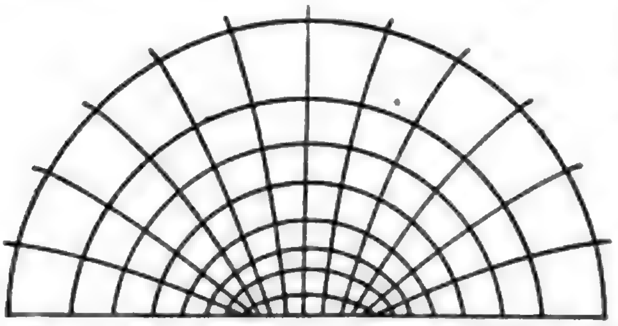


Fig. 7. Demonstration der Diffusionslinien und Kuppenbildung bei Diffussion nach einer kreisförmigen Oeffnung. Nach Brown und Escombe.

erläutert dies. Uebertragen wir das Resultat dieses Versuchs auf die Spaltöffnungen führenden Blätter, so ergeben sich allerdings mancherlei Modifikationen. Einmal ist die CO_2-absorbierende Oberfläche (die assimilierenden Zellen) niemals direkt am Porus gelegen, sondern in einiger Entfernung davon. Das bedingt eine relative Verringerung der absorbierten CO_2-Mengen. Dann spielt vor allem die ziemlich dichte Verteilung der Spaltöffnungen auf der Blattfläche eine sehr wichtige Rolle; sie hat gleichfalls eine erhebliche Verzögerung der Diffusionsströme, die sich dann gegenseitig beeinflussen, zur Folge. Trotz dieser Widerstände sind die Diffusionswerte, die tatsächlich erreicht werden, erstaunlich hoch. Brown und Escombe haben dargetan, daß durch eine mit Poren versehene Scheidewand, wie die Unterseite der Blätter eine ist, ebensoviel CO_2 diffundieren kann, als wenn diese Scheidewand überhaupt nicht vorhanden wäre. Damit begreifen wir, daß die Blätter trotz des prozentual geringen CO_2-Gehalts der Atmosphäre bei weitem ausreichende Mengen dieses Stoffes aufnehmen können, um eine intensive assimilatorische Tätigkeit zu entfalten. — Renner hat neuerdings (1910) die Brown-Escombeschen Ergebnisse in einem Punkte modifiziert und einige weitere interessante Konsequenzen daraus gezogen. So folgt aus der Theorie, daß in ruhiger Luft der Gaswechsel eines großflächigen Blattes pro Flächeneinheit bei gleicher Verteilung der Spaltöffnungen geringer ist als der eines kleineren. Für den Gesamtgaswechsel einer Pflanze kommt neben der Größe der Blätter auch deren Verteilung in Betracht, da die Blätter sich bei dichter Stellung in ihrem Gaswechsel mehr beeinflussen als bei zerstreuter. Ob diese für unbewegte Luft geltenden Sätze allerdings in der Natur eine große Bedeutung haben, ist fraglich, da wir doch fast immer mit Luftströmungen rechnen müssen. Bei bewegter Luft spielt aber die Fläche keine Rolle; da ist die Diffusionsgröße der Zahl der Stomata direkt proportional, und ihr Wert ist unter diesen Umständen erhöht, was für die Pflanze natürlich nicht ohne Bedeutung ist. Das Assimilationsgewebe eines großen Blatts, erhält also im Wind im Verhältnis zu dem eines kleinen mehr CO_2 zugeführt als in ruhiger Luft. Die schon 1895 veröffentlichten Untersuchungen von Blackman stimmen mit der eben erwähnten theoretischen Forderung gut überein. Blackman ließ über die Ober- und Unterseite von amphistomatischen (d. h. beiderseits mit Spaltöffnungen versehenen) Blättern CO_2-freie Luft streichen und fand, daß die Anreicherung, die diese Luft an CO_2 (infolge der Atmung) erfährt, der Zahl der Stomata pro Flächeneinheit etwa entspricht. Was hier für den Austritt der (Atmungs-) Kohlensäure gefunden wurde, gilt natürlich auch umgekehrt für den Eintritt des zu assimilierenden Gases.

Endlich sei noch eine ökologisch wichtige Tatsache hervorgehoben. Der gesamte Gaswechsel eines Blattes (Assimilation, Atmung, Transpiration) hängt natürlich von der Oeffnungsweite der Spaltöffnungen ab und ist bei maximaler Oeffnung am größten. Jeder Oeffnungsweite entspricht eine bestimmte CO_2-Einfuhr und Wasserabgabe, die CO_2-Einfuhr nimmt aber bei zunehmendem Spaltenverschluß in geringerem Maße ab als die Transpiration, so daß die Pflanze auch dann, wenn sie eines ausgiebigen Transpirationsschutzes bedarf, noch zu relativ starken assimilatorischen Leistungen befähigt ist.

Zum Schluß wollen wir einen kurzen Blick auf die Verhältnisse bei untergetauchten Wasserpflanzen werfen. Auch hier ist natürlich die Epidermis das Organ, welches die CO_2 aus der Umgebung (dem Wasser) aufnimmt. Doch geschieht das begreiflicherweise nicht mit Spaltöffnungen, sondern durch Diffusion durch die gesamte (nicht kutinisierte) Oberfläche. Es handelt sich also nicht um die Aufnahme des freien Gases CO_2; doch dürfen wir daraus nicht den Schluß ziehen, dieses spiele bei den Wasserpflanzen überhaupt keine Rolle. Die anatomische Untersuchung der Wasserpflanzen zeigt nämlich, daß sie ungewöhnlich reich an Interzellularen sind. Diese enthalten natürlich auch CO_2, die aus dem umgebenden Wasser unter Vermittelung der dazwischenliegenden Gewebe hineindiffundiert. Sie wird in gleicher Weise wie bei den Landpflanzen von den die Interzellularräume begrenzenden, chlorophyllführenden Zellen verarbeitet.

Auf einige besondere, die Assimilation der Wasserpflanzen betreffende Punkte

Digitized by Google

kommen wir am Ende des nächsten Abschnittes zu sprechen.

4. **Die Kohlensäure.** Es wurde schon mehrfach erwähnt, daß für die Landpflanzen, von denen auch hier zunächst allein die Rede sein soll, die Atmosphäre die Kohlensäurequelle ist. Streng beweisende Tatsachen wurden dafür noch nicht mitgeteilt. Es könnten ja auch die kohlensauren Salze des Bodens von der Pflanze zur Synthese der Kohlehydrate verwendet werden. Ein einfacher Versuch lehrt, daß dies höchstens in verschwindend geringem Maße der Fall sein kann, denn Pflanzen, die in kohlensäurefreier Luft, aber carbonathaltigem Boden kultiviert werden, gehen stets zugrunde. Auch auf indirektem Wege können wir zu diesem Schluß gelangen. Wenn der Assimilationsprozeß nach dem in der Einleitung aufgestellten Schema verläuft — und wir haben allen Grund anzunehmen, daß er das tut —, so muß der assimilatorische Koeffizient, wie auch dort schon hervorgehoben wurde, gleich eins sein. Würde nun außer der atmosphärischen noch Bodenkohlensäure in erheblicher Menge assimiliert, so müßte ja die Sauerstoffausscheidung größer, der Koeffizient mithin kleiner als eins sein. Das ist aber im allgemeinen nicht der Fall. Schon Saussure, der die ersten Versuche in dieser Richtung gemacht hat (1804), fand, daß sich das Gasvolumen im Versuchsgefäß, wo die assimilierende Pflanze untergebracht ist, nicht ändert. Später haben Boussingault (1864), Godlewski (1873), Holle (1877) und andere sich der Frage gewidmet, mit dem Ergebnis, daß der assimilatorische Koeffizient der Zahl 1 sehr nahe kommt. In einigen Fällen waren die Abweichungen größer, als daß sie durch Fehlerquellen der Methode erklärt werden könnten (Bonnier und Mangin 1886), und zwar lagen diese Abweichungen sehr häufig nach der Minusseite. Daraus auf eine Assimilation der Bodenkohlensäure zu schließen, wäre aber voreilig, ehe nicht andere Möglichkeiten ausgeschlossen sind. Wir denken zuerst an den der Assimilation entgegengerichteten Prozeß, die Atmung. Der Atmungskoeffizient weicht oft von 1 ab und wenn wir die Atmung nicht berücksichtigen, so müssen dadurch die gefundenen Zahlen beeinflußt werden. Aber auch eine Kontrolle der Atmung (im Dunkeln) schließt Fehler nicht sicher aus, denn es ist möglich, daß sie am Lichte anders ist (Meyer und Deleano 1911). — Pfeffer hat zuerst auf eine andere theoretische Möglichkeit hingewiesen, die eine Verringerung des assimilatorischen Koeffizienten zur Folge haben müßte. Angenommen, es gäbe Pflanzen, die als Assimilationsprodukte nicht Kohlehydrate, sondern Fette bilden, so müßte wegen des geringeren O-Gehalts der letzteren eine größere O-Ausscheidung stattfinden. Wie groß die Verminderung des Koeffizienten in dem angenommenen Fall, daß Triolein das gebildete Fett ist, sein würde, geht aus folgender, von Ad. Mayer aufgestellten Gleichung hervor:

$$57\,CO_2 + 52.H_2O = C_{57}H_{104}O_6 + 80\,O_2.$$

Holle (1877) hat Strelitzia, die in ihren Chromatophoren Fett enthält, daraufhin untersucht, konnte aber keine wesentliche Abweichung des Koeffizienten von 1 finden. In der Tat tritt hier als Assimilationsprodukt Zucker auf. Wenn daher auch noch keine Fälle bekannt sind, in dem die Pfeffersche Möglichkeit verwirklicht ist, so ist es doch nicht ausgeschlossen, daß solche noch gefunden werden. Man wird hier z. B. an die Diatomeen und Siphoneen denken.

Eine sehr bemerkenswerte Abweichung des Koeffizienten von 1, für die die Erklärung gefunden ist, läßt sich bei vielen sukkulenten Pflanzen beobachten. Die Sauerstoffproduktion übertrifft bei diesen Pflanzen namentlich am Morgen die Kohlensäureaufnahme erheblich, auch in CO_2-freier Atmosphäre findet sie statt, jedoch nur bei Belichtung der Pflanze. In engstem Zusammenhang mit dieser Erscheinung steht eine andere: die gleichen Pflanzen scheiden nachts trotz ziemlich starker Atmungstätigkeit doch nur wenig CO_2 aus, jedenfalls viel weniger als dem aufgenommenen Sauerstoff entsprechen würde. Für die Erklärung dieses Phänomens, das zum Teil schon Saussure kannte und im wesentlichen richtig beurteilt hat, waren die Beobachtungen von Heyne und Link (1889) wichtig, daß Blätter von Bryophyllum und anderen Crassulaceen nachtsüber einen sauren Geschmack annehmen, der sich am Tage allmählich wieder verliert. Nach den Untersuchungen von Warburg (1886) und Aubert (1892), denen diejenigen von Ad. Mayer (1875, 1878), de Vries (1884) und Kraus (1886) vorausgingen, ist die Sachlage folgende: Die geringe CO_2-Ausscheidung nachts beruht darauf, daß die zu veratmenden Substanzen keine vollständige Verbrennung erleiden, sondern nur zu organischen Säuren (Apfelsäure, Oxalsäure) oxydiert werden, die in der Pflanze verbleiben. Je nach den obwaltenden Temperaturverhältnissen ist diese Ablagerung eine größere oder geringere, bei etwa 35° tritt vollständige Oxydation ein, so daß dann der Atmungskoeffizient $\frac{O_2}{CO_2} = 1$ wird. In der Natur dürfte das allerdings sehr selten verwirklicht sein. Hier beobachtet man vielmehr meist eine ansehnliche Produktion organischer Säure, der gegenüber die CO_2-Ausscheidung verschwindend gering sein kann. Am Tage reichert sich dagegen die umgebende Luft

mit Sauerstoff an, und in demselben Maße schwindet in der Pflanze die organische Säure. Bei Versuchen in geschlossenen Behältern tritt wegen der O-Produktion Ueberdruck auf. Die Pflanze verwendet zur Assimilation die Reserven, welche sie während der Nacht gesammelt hat. Allerdings ist das nicht so zu verstehen, als ob die organischen Säuren direkt zu dem photosynthetischen Prozeß herangezogen würden. Vielmehr wird auch hier wie bei allen grünen Pflanzen CO_2 assimiliert; der Unterschied ist nur der, daß diese CO_2 zum großen Teil in der Pflanze selbst aus den organischen Säuren gebildet wird, um sofort in den Chloroplasten verarbeitet zu werden. So erklärt sich auch die Sauerstoffausscheidung im CO_2-freien Raume, ohne daß der Assimilationsprozeß irgendwie anders verliefe als bei den übrigen Pflanzen. Nach Warburg können die Pflanzen auch dann Säure verarbeiten, wenn sie ihnen von außen künstlich zugeführt wird. Manches spricht dafür, daß bei der Oxydation der organischen Säuren zu CO_2 eine katalytische Wirkung beteiligt ist. An sich findet der Prozeß, wenngleich in langsameren Tempo auch nachts statt. Tagsüber wird eine Beschleunigung schon durch die gewöhnlich höhere Temperatur der Pflanze (die wegen der Strahlenabsorption in den Geweben die Temperatur der umgebenden Luft nicht unbeträchtlich übertreffen kann) eintreten. Bei Elimination der Wärmewirkung fand Warburg in chlorophyllfreien Pflanzenteilen keine merkliche Abnahme des Säuregehalts im Licht. Hier dürften also Neubildung der Säure bei der Atmung und deren weitere Oxydation zu CO_2 sich etwa das Gleichgewicht halten. Die normale Säureabnahme, die chlorophyllhaltige Pflanzenteile am Licht zeigen, beruht vermutlich hauptsächlich darauf daß durch die ständige Entfernung der CO_2 das chemische Gleichgewicht fortdauernd gestört wird und somit die Tendenz zur Neubildung des einen Reaktionsprodukts immer in etwa gleicher Stärke fortbesteht. Eine starke Anhäufung dieses Produkts (künstliche Zufuhr von CO_2) hat andererseits Aufhebung der Säureoxydation zur Folge. Zugleich wird unter diesen Umständen (bei Bryophyllum in einer Atmosphäre, die 12% CO_2 enthält) die Assimilation sistiert.

Vom ökologischen Gesichtspunkt ist es leicht verständlich, daß gerade bei solchen Pflanzen, für die Schutz gegen zu starke Transpiration Lebensbedingung ist, Atmung und Assimilation in der besprochenen Weise ineinandergreifen. Dem Gaswechsel sind hier naturgemäß Beschränkungen auferlegt, da Sauerstoff und Kohlensäure, um in die Pflanze zu gelangen, dieselben Durchgangspforten passieren müssen, wie der Wasserdampf. Aus diesem Grunde muß zwischen Assimilation und Atmung einerseits und Transpiration andererseits ein Kompromiß geschaffen werden. Die Fettpflanzen tun dies, indem sie sehr haushälterisch mit den bei der Atmung gebildeten Verbrennungsprodukten umgehen. Während die meisten Pflanzen sich der nachts erzeugten Atmungsprodukte entledigen, speichern sie die Sukkulenten in Form der genannten Säuren, die am Tage der Pflanze als CO_2-Quelle zur Verfügung stehen. Die assimilierenden Fettpflanzen sind also von der atmosphärischen Kohlensäure in weit geringerem Maße abhängig. Bedenkt man, in welch geringem Prozentsatz die CO_2 in der Luft enthalten ist, so erhellt, daß bei den Pflanzen, die die zu assimilierende CO_2 ausschließlich aus der Atmosphäre beziehen, die Gasmenge, welche die Spaltöffnungen passiert, bei gleicher Assimilationsgröße eine erheblich größere sein muß. Und damit wird auch die Transpiration gesteigert. Der ohnehin schon träge Stoffwechsel der Sukkulenten kommt außerdem indirekt dem Transpirationsschutz zugute.

Wir haben uns jetzt noch mit der Frage zu beschäftigen, welchen Einfluß verschiedene Konzentrationen der dargereichten Kohlensäure auf die Assimilationstätigkeit ausüben. Wie es sich erklärt, daß eine üppige Vegetation und ausgiebige Ausnutzung des Gases trotz der starken Verdünnung, in der es in der Atmosphäre enthalten ist, möglich ist, haben wir im vorigen Abschnitt gesehen. Hier ist nun der Ort, darauf hinzuweisen, daß auch bei günstigster Einstellung der übrigen Vegetationsbedingungen die assimilatorische Leistung in einer Atmosphäre mit nur 0,03% CO_2 niemals den maximalen Wert erreicht, zu dem die Pflanze an sich befähigt ist, auch dann nicht, wenn für die Aufnahme möglichst großer absoluter Mengen des Gases alle Voraussetzungen gegeben sind. Es ist also zu erwarten, daß künstliche Steigerung des CO_2-Gehaltes auch Erhöhung der Assimilation zur Folge haben wird. Bei niedrigen CO_2-Konzentrationen scheint eine annähernde Proportionalität zwischen Assimilationsgröße und CO_2-Gehalt zu bestehen. Brown und Escombe (1902) fanden auch ein paralleles Ansteigen beider Werte, wenn sie die CO_2 der Luft etwa bis zur fünffachen Konzentration (also bis zirka 0,15%) steigerten. Blackman und Smith konstatierten neuerdings (1911) bei Holodea und Fontinalis gleichfalls eine mit der CO_2-Konzentration proportional zunehmende Assimilationsgröße. Was den Einfluß stärkerer CO_2-Konzentrationen betrifft, so ist ein großer Teil der älteren Angaben hierüber nicht verwertbar, weil die Versuchsmethodik fehlerhaft war und Außenbedingungen wie Temperatur und Licht

Digitized by Google

nicht in erforderlichem Maße berücksichtigt worden sind. So sind wir zurzeit nicht in der Lage zu sagen, welcher CO_2-Konzentration durchschnittlich die größtmögliche photosynthetische Leistung entspricht (vgl. hierüber auch Abschnitt 7). Das Problem wird noch dadurch kompliziert, daß höhere Kohlensäurespannungen allerlei Nebenwirkungen haben, die indirekt die Assimilation beeinträchtigen. F. Darwin (1898) hat für verschiedene Blätter festgestellt, daß sie bei starker Erhöhung der CO_2-Tension ihre Spaltöffnungen schließen. Durch vielfache Versuche ist ferner erwiesen, daß konzentrierte CO_2 auf die Pflanzengewebe einen toxischen Einfluß hat. Endlich ist hier zu berücksichtigen, daß der oben ausgesprochene Satz, nach dem die CO_2-Zufuhr allein durch die Stomata erfolgt, für höhere Partiärpressungen des Gases keine Geltung mehr hat. Unter diesen Umständen können beträchtliche Mengen durch die Cuticula diffundieren. Beträgt der CO_2-Gehalt der Luft 30% und mehr, so beobachtet man, wie Blackman (1895) in Bestätigung eines Versuchs von Boussingault gezeigt hat, die auf den ersten Blick merkwürdige Erscheinung, daß Blätter, deren Unterseite mit Vaseline bestrichen ist (um die Stomata zu schließen), stärker assimilieren als solche, bei denen das nicht geschah. Die Erklärung hierfür haben wir mit Blackman darin zu suchen, daß bei normalen Blättern die CO_2-Einfuhr so groß ist, daß sie schädlich wirkt, während bei verschlossenen Spaltöffnungen die durch die Kutikula eindringenden CO_2-Mengen geringer sind und daher nicht oder in weit geringerem Grade giftig wirken. Bei Nerium, mit dem Blackman arbeitete, tritt offenbar der von Darwin an anderen Blättern beobachtete Schluß der Spaltöffnungen nicht ein.

Die bisher berichteten Versuche über den Einfluß oder CO_2-Konzentration auf die Assimilationsgröße beziehen sich immer nur auf relativ kurze Zeit. Eine andere Frage ist es, wie die Pflanzen sich verhalten, wenn sie längere Zeit oder dauernd von einer Atmosphäre umgeben sind, deren CO_2-Gehalt von dem normalen abweicht. Das zu betonen ist um so nötiger, als wir annehmen müssen, daß bei Anwendung hoher CO_2-Konzentrationen die Assimilationsgröße anfangs stark ansteigt, sich aber auf der erreichten Höhe nicht hält sondern je nach dem CO_2-Gehalt langsam oder schnell wieder absinkt. Wir werden bei der Besprechung des Lichteinflusses auf die Assimilation auf diesen wichtigen Punkt zurückkommen. Anhangsweise wollen wir hier auf einige Versuche von Brown und Escombe (1902) eingehen, die zu zeigen scheinen, daß CO_2-Konzentrationen, auch wenn sie nicht sehr viel höher sind als in der Atmosphäre, schädigende Einflüsse auf die Pflanzen ausüben. Brown und Escombe zogen Pflanzen aus den verschiedensten Familien in einem Gewächshaus, dessen Luft tagsüber mit CO_2 ungefähr bis zum $3\frac{1}{2}$fachen Gehalt der atmosphärischen angereichert war. Die Kontrollpflanzen waren in einem abgetrennten Raum des gleichen Gewächshauses in normaler atmosphärischer Luft untergebracht. Insofern stehen diese Versuche zunächst mit den früher besprochenen in Einklang, als das Assimilationsgewebe der Versuchspflanzen eine erheblich größere Stärkeanhäufung als das der Kontrollpflanzen aufwies. Die Assimilation ist also wohl gesteigert. Abgesehen davon zeigte aber der ganze Habitus der Versuchspflanzen so viel abnormes, daß wir daraus den Schluß ziehen müssen, sie haben sich unter ungünstigen Vegetationsbedingungen befunden. Die Blätter sind kleiner, häufig stark eingerollt, gleichsam als wollten sie sich vor zu starker Belichtung schützen; Blüten werden von den Versuchspflanzen nur in spärlichstem Maße oder gar nicht produziert, während die Kontrollpflanzen reich damit ausgestattet sind. Wenn sich diese Ergebnisse in weiterem Umfange bestätigen, so dürfen wir demnach annehmen, daß schon ein CO_2-Gehalt, der nur um weniges den normalen übertrifft, eine gedeihliche Entwickelung der Pflanzen nicht mehr gestattet. Für die Gesamtfunktion des pflanzlichen Organismus wäre also die geringe Konzentration von 0,03% die günstigste. Es soll jedoch nicht verschwiegen werden, daß Demoussy (1903) zu anderen Resultaten gelangte.

Wir wenden uns jetzt noch kurz der Kohlensäureversorgung der Wasserpflanzen zu. Wir wissen bereits, daß diese mit ihrer ganzen Oberfläche die im Wasser gelöste Kohlensäure aufnehmen können und der Spaltöffnungen sowie einer Kutinisierung der Epidermis entbehren. Auch darauf wurde hingewiesen, daß sie zweifellos auch die gasförmige CO_2, die in das Interzellularsystem durch Diffusion aus dem umgebenden Wasser gelangt, zur Photosynthese verwenden können. Da nun bei Wasser- wie bei Landpflanzen die CO_2, ehe sie zu den Werkstätten, in denen ihre Zersetzung vollzogen wird, den Chlorophyllkörpern, gelangt, die mit Wasser imbibierte Membran und die äußere Schicht des Protoplasmas passieren muß und sich folglich in dem Imbibitionswasser löst, so gelangt sie bei Wasser- wie bei Landpflanzen nicht als Gas, sondern als H_2CO_3 zur Verarbeitung. Es wäre also kein Grund, die Wasserpflanzen hier besonders zu erwähnen, wenn uns nicht ein anderer, ihre Assimilation betreffender Punkt, der in der Literatur mehrfach erörtert

Digitized by Google

worden ist, interessierte. Die meisten natürlichen Gewässer enthalten nämlich die Kohlensäure in gebundener Form, als Karbonate und Bikarbonate, und es erhebt sich die Frage, ob sich die Wasserpflanzen auch diese Form der Kohlensäure für den Assimilationsprozeß nutzbar machen können. Von vornherein ist das keineswegs ausgeschlossen. Auch wenn die Salze nicht direkt für die Photosynthese verwendet werden könnten, so stände im Prinzip doch der Vorstellung nichts im Wege, daß sie aufgenommen und durch irgendeine Säure zersetzt werden, und daß die dadurch frei werdende CO_2 von den Chloroplasten verarbeitet wird. Wir wissen ja, daß die Pflanzen Säuren in reicher Menge produzieren können.

So einfach können indessen die Dinge nicht liegen. Denn wenn das zuträfe, müßten Karbonate sowohl wie Bikarbonate als Kohlensäurequellen verwertet werden. Man kann sich jedoch leicht davon überzeugen, daß Wasserpflanzen in frisch hergestellten Karbonatlösungen (etwa 1% K_2CO_3 oder Na_2CO_3) nicht assimilieren. Läßt man die Lösungen längere Zeit an der Luft stehen, so zeigen die Pflanzen eine allmählich zunehmende Sauerstoffausscheidung, die schließlich unter sonst gleichen Bedingungen einen konstanten maximalen Wert erreicht. Es hängt das damit zusammen, daß die Karbonatlösung sich an der Luft verändert hat. Um diese Verhältnisse überblicken zu können, wollen wir kurz betrachten, was vor sich geht, wenn wir ein Karbonat (K_2CO_3) in destilliertem Wasser auflösen. Wie bekannt, dissoziiert dann ein großer Teil des Salzes. Zugleich tritt, da die Kohlensäure eine sehr schwache Säure ist, hydrolytische Spaltung (Reaktion mit Wasser, das immer zu einem geringen Teile in die Ionen $H^{\cdot}$ und OH' gespalten ist) ein. Der Verlauf der Reaktion gewinnt sonach folgende Form (vgl. Fox 1909):

$$K_2CO_3 + HOH \rightleftarrows 2K^{\cdot} + HCO_3' + OH'$$

Aus dem Auftreten der Hydroxylionen erklärt sich die alkalische Reaktion der Karbonatlösungen.

Haben wir zur Lösung reines, CO_2-freies Wasser verwandt, so steht diese nicht mit der Außenluft im Gleichgewicht. Es wird also aus der Atmosphäre CO_2 in die Lösung diffundieren und dort als Hydrat H_2CO_3 auftreten. Zu einem Teil dissoziiert auch dieses nach der Gleichung:

$$H_2CO_3 \rightleftarrows H^{\cdot} + HCO_3'$$

(die weitere Dissoziation des Ions HCO_3' in $H^{\cdot}$ und CO_3'' ist so schwach, daß sie völlig außer Betracht bleiben kann). Da wir jetzt in unserer Lösung freie $H^{\cdot}$ und OH'-Ionen haben, so werden diese sich zum größten Teil zu H_2O vereinigen. Wir erhalten den Reaktionsverlauf.

$$OH' + H^{\cdot} \rightleftarrows H_2O.$$

Die Wegschaffung der $H^{\cdot}$-Ionen bedingt einen fortdauernden Nachschub derselben, d. h. vorhandene H_2CO_3-Moleküle werden dissoziiert und das geht fort bis zur Neutralisierung der verfügbaren Hydroxylionen. Wenn der Gleichgewichtszustand erreicht ist, das heißt wenn nur noch so viel $H^{\cdot}$ und OH'-Ionen in Lösung sind, als der Dissoziation des Wassers entspricht, dann wird weiterhin noch so viel Kohlensäure von außen aufgenommen, bis die Kohlensäurespannung genau der der Atmosphäre entspricht.

Die Veränderung, die eine Bikarbonatlösung ($KHCO_3$) erfährt, führt zu demselben Endergebnis. Hier liegen aber die Dinge insofern umgekehrt, als deren Kohlensäuretension von vornherein sehr hoch ist, sie wird also CO_2 an die Atmosphäre bis zur Erreichung des Tensionsgleichgewichts abgeben. Die Dissoziation verläuft nach folgendem Schema:

$$KHCO_3 \rightleftarrows K^{\cdot} + HCO_3'$$
$$HCO_3' \rightleftarrows CO_2 + OH'.$$

Da also die Kohlensäurespannung einer Karbonatlösung ursprünglich Null ist, diejenige einer Bikarbonatlösung höher als dem Gleichgewichtszustand mit der Atmosphäre entspricht, so wird man eine von vornherein im Spannungsgleichgewicht stehende Lösung erhalten, wenn man von einer bestimmten Mischung der Salze ausgeht. Nebenbei sei bemerkt, daß bei 15° und einem Atmosphärendruck von 760 mm in destilliertem Wasser das Gleichgewicht mit der Atmosphäre dann erreicht ist, wenn das Wasser 0,304 ccm Kohlensäure im Liter enthält. In Salzlösungen (z. B. im Meerwasser) ist dieser Wert je nach der Höhe der Salzkonzentration geringer, doch ist die Verminderung nicht sehr bedeutend.

Wir kehren jetzt zur Assimilation der Wasserpflanzen zurück und knüpfen an die Tatsache an, daß diese in frisch bereiteten Bicarbonatlösungen (z. B. 1% $KHCO_3$) sehr stark ist, allmählich aber abnimmt und durch Zusatz von Carbonat schnell herabgedrückt werden kann. Die an sich nicht von der Hand zu weisende Möglichkeit, daß die Pflanzen die HCO_3'-Ionen aufnehmen und verarbeiten, scheidet für die Erklärung offenbar aus, denn diese Ionen sind sowohl in Carbonat als in Bicarbonatlösungen enthalten. Es müßten die Pflanzen also in beiden assimilieren können, was nicht der Fall ist. Allerdings könnte, wie Nathansohn (1907) betont hat, das Ausbleiben der Assimilation in Carbonatlösungen auch daran liegen, daß die hier vorhandenen OH'-Ionen den Vorgang hindern. Doch hat Nathansohn

selbst wahrscheinlich gemacht, daß das nicht zutrifft, denn er konnte öfter direkt nach dem Einbringen der Pflanze in die Carbonatlösung mit Hilfe empfindlicher Reagentien eine Zeitlang Sauerstoffproduktion nachweisen. Das läßt darauf schließen, daß die Pflanzen Kohlensäurereserven enthalten, die sie auch in einer alkalischen Außenflüssigkeit verarbeiten können.

Auf Grund seiner Versuche kommt Nathansohn zu dem Schlusse, daß von Wasserpflanzen ausschließlich die freie, im Wasser gelöste Kohlensäure verarbeitet wird und daraus würde sich die biologisch nicht unwichtige Folgerung ergeben, daß sie in bezug auf ihren assimilatorischen Stoffwechsel nicht günstiger gestellt sind als die Landpflanzen. Angelstein (1910) ist allerdings zu etwas anderen Resultaten gekommen. Er gibt an, daß Pflanzen in Calciumbicarbonatlösungen (Leitungswasser) erheblich stärker assimilieren als in destilliertem Wasser von gleicher Kohlensäuretension und daraus würde folgen, daß die Pflanze auch das Bicarbonat (es kann sich nach obigem nur um die undissoziierten Moleküle handeln) direkt verarbeiten kann, zumal da in Lösungen gleicher CO_2-Spannung die Assimilationsgröße mit steigendem Bicarbonatgehalt wächst. Die Kritik, die Nathansohn (1910) an diesen Versuchen geübt hat, bringt noch keine völlige Klärung der Frage, so daß wir die endgültige Entscheidung weiteren Untersuchungen überlassen müssen.

Am Schlusse dieses Abschnitts möge noch eines Punktes gedacht werden, der physiologisch und auch ökologisch großes Interesse hat. Das ist die Frage, ob die Kohlensäure durch andere Kohlenstoffverbindungen ersetzt werden kann. In erster Linie wird man da an das Kohlenoxyd denken. Auch mit Kohlenwasserstoffen hat man Versuche gemacht (Boussingault 1868). Die Ergebnisse sind sehr widersprechend, so daß wir uns mit der Konstatierung begnügen müssen: es hat sich bisher kein Stoff gefunden, von dem man sicher behaupten könnte, daß er für die Photosynthese in gleicher Weise verwertbar sei wie die Kohlensäure.

5. Der Aufbau der Kohlehydrate und die verschiedenen Assimilate. Eingangs haben wir für den Prozeß der Kohlensäureassimilation folgende Formelgleichung aufgestellt, die den Vorgang veranschaulichen soll:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2.$$

Da die Kohlensäure, wie wir gesehen haben, niemals als freies Gas zu den Stätten ihrer Zersetzung gelangt, so ist es richtiger, die linke Seite der Gleichung durch $6\,H_2CO_3$ zu ersetzen. Wie die Formel $C_6H_{12}O_6$ zeigt, ist als Entstehungsprodukt ein Monosaccharid (Traubenzucker) angenommen. Setzen wir dafür die Stärke als erstes, mikroskopisch direkt sichtbares Assimilationsprodukt, so nimmt die Gleichung die Form an:

$$6H_2CO_3 = \underset{\text{Stärke}}{C_6H_{10}O_5} + 6O_2 + H_2O$$

Zur rechten Beurteilung dieser Formelgleichung muß vor allem hervorgehoben werden, daß sie keineswegs den Verlauf des Assimilationsprozesses darstellen, sondern nur eine grob schematische Veranschaulichung der Zucker- oder Stärkebildung aus dem Ausgangsmaterial, der Kohlensäure, geben soll. Ueber alle Vorgänge, die zwischen Zerlegung der CO_2 und Anhäufung der Kohlehydrate in der assimilierenden Zelle liegen, ist in der Gleichung nichts ausgesagt. Wenn wir uns jetzt mit diesen Vorgängen beschäftigen wollen, so müssen wir allerdings gleich zu Anfang bekennen, daß dieses Vorhaben bei der Dürftigkeit unserer gegenwärtigen Kenntnisse zum größten Teile ein frommer Wunsch bleiben wird.

In erster Linie interessiert uns derjenige Körper, der als erstes Assimilationsprodukt und Ausgangspunkt der Zuckersynthese bei der Zerlegung der CO_2 entsteht. von Baeyer hat im Jahre 1870 die Hypothese aufgestellt, daß dies der Formaldehyd sei, und danach würde sich der Vorgang etwa nach folgender Formelgleichung vollziehen:

$$H_2CO_3 = \underset{\text{Formaldehyd.}}{HCOH} + O_2$$

Im Laufe der letzten 40 Jahre, während deren die Bearbeitung des Problems von verschiedenen Seiten in Angriff genommen worden ist, hat sich v. Baeyers Vermutung über den Wert einer Hypothese nicht erheben können, obwohl ohne weiteres zuzugeben ist, daß seit ihrer Aufstellung manche Tatsache bekannt geworden ist, die ihr als Stütze dient. Auch hat ihr keine andere der seitdem aufgestellten Hypothesen den Vorrang streitig gemacht. Die organische Chemie hat uns inzwischen verschiedene Wege kennen gelehrt, auf denen, ausgehend vom Formaldehyd, die Synthese von Zuckern möglich ist. Es handelt sich um die als Aldolkondensation bekannte Verkettung mehrerer Aldehydmoleküle durch Kohlenstoffbindung. Sie geht z. B. in Gegenwart von Alkalien leicht vor sich, auch wenn deren Konzentration äußerst schwach ist. Was so in vitro nachgewiesen werden kann, könnte sehr wohl auch in der Pflanzenzelle stattfinden, denn es geschieht dort unter Bedingungen, die hier gut verwirklicht sein könnten. Tatsächlich spricht alle Wahrscheinlichkeit dafür, daß in der Pflanze die Zuckersynthese eine Reihe solcher katalytischer Kondensationsprozesse ist. Trifft das zu, so wäre

Digitized by Google

hieraus die wichtige Konsequenz zu ziehen, daß das Licht allein die Energie für den primären Vorgang der CO_2-Reduktion liefert und an den folgenden energetisch nicht direkt beteiligt ist. Wir werden übrigens unten sehen, daß ein Teil der Polymerisationen, die zur Stärke führen, ganz sicher im Dunkeln stattfinden kann. Der Teil der v. Baeyerschen Hypothese, welcher die Kohlehydrate als Kondensationsprodukte ansieht, dürfte also theoretisch kaum Schwierigkeiten begegnen.

Wie steht es nun mit dem Nachweis des Formaldehyds in der Pflanze? Von vornherein läßt sich erwarten, daß der Körper höchstens in sehr großer Verdünnung in den lebenden Zellen auftritt, da er ein starkes Gift ist. Er würde sich also bei der Assimilation niemals anhäufen können, sondern müßte immer gleich weiter verarbeitet werden. Das erschwert natürlich den Nachweis sehr; es bedarf äußerst empfindlicher und, was ebenfalls wichtig ist, spezifischer Reaktionen, denn viele Reaktionen mit Formaldehyd sind anderen Aldehyden gemeinsam. Polacci (1907) und in neuester Zeit Grafe (1906 bis 1911), Gentil (1910) und Stoklasa (1910) haben sich mit diesem Nachweis beschäftigt. Nach Polacci gelingt die Reaktion nur mit einem aus assimilierenden Blättern gewonnenen Extrakt; bei Ausschluß der Kohlensäure und Verdunkelung ist Formaldehyd ebensowenig nachzuweisen wie bei Pflanzen oder Pflanzenteilen, die chlorophyllfrei sind. Dem widersprechen die Angaben Gentils, der auch in Wurzeln Formaldehyd fand. Curtius und Franzen haben neuerdings (1912) die von den obengenannten und anderen Forschern verwandten Reaktionen zum Formaldehydnachweis in Pflanzen kritisch geprüft mit dem Ergebnis, daß sie alle nicht einwandfrei sind. Auf Grund einer neuen Methode kommen sie zu dem Resultat, daß in Hainbuchenblättern tatsächlich geringe Mengen des Stoffes vorkommen. Ein wirklich schlüssiger Beweis dafür, daß in grünen Pflanzen auftretender Formaldehyd in direkter Beziehung zur Assimilation der Kohlensäure steht und als deren Reduktionsprodukt in den assimilierenden Zellen auftritt, ist aber auch damit noch nicht gegeben. Andererseits wäre, selbst wenn sich herausstellen sollte, daß das nicht der Fall ist, doch damit die Baeyersche Hypothese noch nicht widerlegt, denn es wäre möglich, daß der Aldehyd sofort polymerisiert und deshalb für den Chemiker unfaßbar wird, oder daß er überhaupt nicht als stabiler Köper auftritt, sondern nur in labiler Gestalt und so direkt zur Zuckersynthese verwendet wird. Die günstigsten Aussichten, den Formaldehyd nachzuweisen, dürfen wir dann als gegeben betrachten, wenn die Blätter schon längere Zeit stark assimiliert haben, denn die Ueberladung mit Assimilaten wird natürlich die weitere Kondensation erschweren.

Begreiflicherweise hat man versucht, den Assimilationsvorgang unter Ausschaltung der lebenden Zelle, in Gegenwart von Chlorophyll, in vitro hervorzurufen. Alle positiven Angaben in dieser Richtung haben sich indessen als nicht stichhaltig erwiesen. Auch diejenigen Versuche, welche gezeigt haben, daß in Abwesenheit des Chlorophylls unter dem Einfluß strahlender Energie bei Gegenwart von Wasserstoff Reduktion der Kohlensäure möglich ist, und daß dabei Aldehyde und deren Kondensationsprodukte entstehen, haben uns noch keine klare Einsicht in den Assimilationsvorgang zu geben vermocht. Wir kommen hierauf im nächsten Abschnitt zurück und weisen nur darauf hin, daß die neueste darauf bezügliche Publikation von Stoklasa und Zdobnicky (Photochemische Synthese der Kohlenhydrate aus Kohlensäureanhydrid und Wasserstoff, in Anwesenheit von Kaliumhydroxyd, in Abwesenheit von Chlorophyll, 1910), aus der die Verfasser weitgehende Schlüsse auf den physiologischen Vorgang und die Rolle der ultravioletten Strahlen ziehen, in diesem Sinne nicht verwertet werden kann, denn es handelt sich hier aller Wahrscheinlichkeit nach um einen exothermischen Prozeß. Das ist ja aber gerade das Wesentliche am Assimilationsprozeß, was ihm seine ungeheure Bedeutung verleiht, daß er endothermischer Natur ist und die Sonnenenergie in potentieller Form speichert.

Noch ein anderer Weg wurde zur Lösung des Problems eingeschlagen. Man hat untersucht, ob die Pflanzen imstande sind, bei künstlicher Darreichung von Formaldehyd Assimilate zu bilden. Grünalgen (Spirogyra) können sich nach Pokornys neuesten Versuchen (1909, 1911) in der Tat im Dunkeln mit Stärke anreichern, wenn ihnen Formaldehyd in äußerst geringer Verdünnung zur Verfügung steht. Es wäre jedoch mindestens verfrüht, dieses Ergebnis zu verallgemeinern, zumal die Stärkebildung bei Zygnemaceen in ihrem Verlauf etwas abzuweichen scheint von der der höheren Pflanzen. Treboux (1903) stellte fest, daß Helodea eine 0,0005 prozentige Lösung von Formaldehyd verträgt, konnte aber weder im Licht noch im Dunkeln Stärkebildung konstatieren. Vor kurzem hat Grafe (1911) den Einfluß gasförmigen Formaldehyds auf Phaseolus untersucht und gefunden, daß die Pflanzen im CO_2-freien Raum bei Beleuchtung besser gedeihen als die Kontrollexemplare, die ohne Formaldehyd kultiviert werden. Die Versuchspflanzen nahmen Formaldehyd auf.

Digitized by Google

Daß jedoch auch hier Vorgänge mitspielen, die bei dem normalen Kohlehydrataufbau ausgeschaltet sind, folgt daraus, daß die Versuchspflanzen keine Stärke bildeten, dafür einen höheren Zuckergehalt aufwiesen als die Kontrollen. Ob die gebildete Kohlehydratmenge auch absolut gemessen höher war, läßt sich aus den Angaben nicht ersehen. Merkwürdig ist ferner, daß etiolierte Pflanzen im Dunkeln bei sonst gleicher Versuchsanordnung gegen Formaldehyd indifferent sind. Wir sahen oben, daß höchstwahrscheinlich für die Kondensationsvorgänge, die schließlich zur Stärkebildung führen, Licht nicht nötig ist. Grafe ist der Meinung, daß dem Chlorophyll ein Einfluß als entgiftender Faktor zukomme. Da eine Prüfung dieser Hypothese, zu der sich vielleicht Koniferenkeimlinge (die im Dunkeln Chlorophyll bilden) eignen würden, noch aussteht, können wir über deren Wert nichts sagen. Die endgültige Erledigung der ganzen Frage bleibt also der Zukunft vorbehalten.

Fassen wir jetzt die Kondensationsprodukte selbst ins Auge. Schon Saussure hat richtig erkannt, daß das Trockengewicht in höherem Maße zunimmt als dem Kohlenstoff der zersetzten CO_2 entspricht, und daß dieser Ueberschuß auf Kosten des Wassers zu setzen ist, welches durch die Bindung „seinen flüssigen Zustand verliert". Wir wissen heute, daß die Trockengewichtszunahme befriedigend mit der Voraussetzung übereinstimmt, daß die Produkte des assimilatorischen Stoffwechsels Kohlehydrate sind. Setzen wir als mittleren „Kohlehydratfaktor" den Wert 0,64 (d. h. 0,64 g Kohlehydrate entsprechen 1 g CO_2), so läßt sich aus dem gefundenen Trockengewicht mit großer Annäherung die assimilierte CO_2-Menge berechnen (Thoday 1910). Auch aus der Messung des assimilatorischen Koeffizienten geht ja schon mit großer Wahrscheinlichkeit hervor, daß kohlehydratähnliche Körper gebildet werden. Allerdings läßt sich aus derartigen Versuchen nur wenig schließen. Falls, wie Saposchnikoff (1895) will, ein Teil des Kohlenstoffs direkt zur Eiweißsynthese verwandt werden sollte, so würde das z. B. den Kohlenhydratfaktor nur wenig verändern.

Es fragt sich nun, welcher Natur die Assimilate im einzelnen sind. Daß bei den meisten Blättern in den Chloroplasten Stärke als sichtbares Assimilationsprodukt auftritt, braucht hier nicht nochmals hervorgehoben zu werden. In bestimmten Pflanzen, namentlich Monokotylen (Alliumarten, Asphodelus, Tulipa, Colchicum, Scilla, Arum, Orchis militaris und anderen) findet sich dagegen dieses Assimilat nicht oder nur in sehr geringer Menge. Sie besitzen sogenannte „Zuckerblätter" (man spricht von Saccharophyllie zum Unterschied von Amylophyllie). Diese Blätter enthalten an Stelle der Stärke Glycose oder andere Zuckerarten. Der Unterschied zwischen Stärke- und Zuckerblättern ist übrigens kein so durchgreifender, als das den Anschein hat, denn es gibt keine Stärkeblätter, in denen die Stärke ausschließlich als Assimilat gefunden wird, immer ist sie von Zucker begleitet. Das ist a priori verständlich, wenn wir folgendes bedenken: Stärke wird aus Zucker gebildet; damit sie überhaupt entstehen kann, bedarf es einer bestimmten Zuckerkonzentration. Eine andere, höhere Zuckerkonzentration bildet die günstigste (optimale) Bedingung für die Stärkebildung. Von diesem Gesichtspunkt aus erscheint es begreiflich, daß Zuckerblätter durchschnittlich geringere Assimilationswerte aufweisen als Stärkeblätter und daß es bei vielen von ihnen möglich ist, durch künstliche Erhöhung der Zuckerkonzentration Stärkebildung zu veranlassen (Schimper 1885). Doch ist die optimale Grenzkonzentration noch von anderen Faktoren abhängig, die sich zur Zeit der physikalisch-chemischen Analyse noch entziehen. Sie ist bei einzelnen Arten spezifisch verschieden. In einigen Fällen (Alliumblätter) sind die Bemühungen, Stärkebildung hervorzurufen, bisher erfolglos geblieben.

Die Zuckerkonzentration in Stärkeblättern hängt noch von zwei anderen Faktoren ab, die nicht vernachlässigt werden dürfen: das ist einmal die Ableitung der Assimilate vom Blatt nach dem Stengel. Während des Assimilationsvorgangs speichern sich nämlich, wie Sachs betont hat, nicht alle Assimilate in den Assimilationsorganen auf, es ist vielmehr anzunehmen, daß fortwährend ein Teil davon nach dem Stengel abgeleitet wird. Diese Ableitung geschieht in Form von Zucker und letzterer ist vermutlich teils das direkte Assimilationsprodukt, teils auf hydrolytische Spaltung der Stärke unter dem Einfluß von Diastase zurückzuführen. Danach würde die abgelagerte Stärke resultieren aus derjenigen Quantität, die im Licht dauernd neu gebildet wird, abzüglich derjenigen, die in Zucker zurückverwandelt und abgeleitet wird. Nachts findet keine Neubildung statt und in der Tat sehen wir da im normalen Blatt den größten Teil der Stärke, wenn nicht alle, schwinden. Nach Brown und Morris (1893) wird die Diastasebildung nachts vermehrt, der Ableitungsprozeß geht also wahrscheinlich im Dunkeln schneller vor sich als bei gleichzeitiger Assimilation. An Blättern, die von der Pflanze abgetrennt worden sind, ist, da die Leitungsbahnen unterbrochen sind, nachts eine weit geringere Trockengewichtsabnahme zu verzeichnen. Diese ist ausschließlich auf Kosten

Digitized by Google

der Atmung zu setzen, des zweiten Faktors, der hier berücksichtigt werden muß.

Wir ersehen aus alledem, daß in Stärkeblättern unter normalen Vegetationsbedingungen stets Zucker zu erwarten ist, sei es, daß er noch nicht zu Stärke kondensiert ist, sei es, daß er auf regressivem Wege aus Stärke entstanden ist. Es darf als sehr wahrscheinlich gelten, daß dieser Zucker Glycose ist. Ob in Stärkeblättern auch Zucker als Assimilationsprodukte vorkommen, die sich am Stärkeauf- und Abbau überhaupt nicht beteiligen, kann noch nicht als exakt erwiesen gelten. Tatsache ist, daß außer Traubenzucker auch Maltose, Saccharose und Lävulose gefunden worden sind, also auch Zuckerarten, die im Molekularkomplexe der Stärke nicht enthalten sind; das möchte dafür sprechen, daß es Zucker, die als selbständige Assimilate auftreten, wirklich gibt. Andererseits werden wir unten Versuche kennen lernen, die es sehr wahrscheinlich machen, daß die Pflanze befähigt ist, verschiedenartige Zucker in Glycose und damit indirekt in Stärke umzuwandeln.

Die Gesamtmenge des Zuckers kann übrigens im Verhältnis zur Stärke recht erhebliche Werte erreichen. Sachs hielt noch die Stärke für das Endprodukt des gesamten assimilatorischen Aufbaus und sah in ihrer Menge einen quantitativen Ausdruck der Assimilationsgröße. Brown und Morris (1893) haben jedoch für Blätter der Kapuzinerkresse (Tropaeolum majus), die typische Stärkeblätter sind, nachgewiesen, daß die Stärke im Vergleich zum Zucker auch nach intensiver Assimilation quantitativ in der Minderheit ist. So fanden sie in Blättern, die an einem hellen Tage bis 5 Uhr nachmittags an der Pflanze assimiliert hatten, 4,59% des Trockengewichts an Stärke, 9,58%, also mehr als das doppelte, an Zucker. In Blättern, die schon vor dem Versuch abgetrennt, also an der Kohlehydratableitung verhindert werden, verschiebt sich das Verhältnis noch weit mehr zugunsten des Zuckers. Ein Parallelversuch mit solchen Blättern ergab das Verhältnis 3,91 : 17,18. Was die Natur der Zucker anlangt, so war ein wesentlicher Prozentsatz Rohrzucker; im übrigen wurden Maltose, Glycose und Lävulose gefunden.

Da Aufbau und Abbau der Stärke gleichzeitig stattfindet, läßt sich, wie schon erwähnt, über den Ursprung und die Verarbeitung dieser Zucker nichts gewisses sagen. Für die Entscheidung der Frage, in welcher Reihenfolge die einzelnen Kondensationsprodukte auftreten, können wir aus den analytischen Ergebnissen allein also wenig Anhaltspunkte schöpfen. Man hat daher einen anderen Weg zu beschreiten versucht. Böhm (1883) hat zuerst gezeigt, daß Blätter, die nach Verdunkelung ihre Stärke abgeleitet hatten, neue bilden, wenn man sie in Zuckerlösung legt. In größerem Umfange haben dann A. Meyer (1885) und Laurent (1887) die Versuche wieder aufgenommen. Nach Meyer können Blätter der verschiedensten Pflanzenarten im Dunkeln sehr gut Stärke bilden bei Zufuhr von d-Glycose, d-Mannose, d-Fruktose und Saccharose. Mit Ausnahme des letzten Zuckers sind es also Hexosen. In beschränkterem Maße war d-Galaktose wirksam. Mit diesem Zucker gelang die Stärkebildung nur bei Caryophyllaceen. Von sechswertigen Alkoholen ergab Mannit bei Cleaceen (Fraxinus u. anderen), Dulcit bei Cheiranthus, Evonymus und Ligustrum Stärkebildung (siehe auch Nadson 1899). Die gleichen Stoffe werden bei diesen Pflanzen als Reservematerialien gefunden. Mit dem dreiwertigen Alkohol Glycerin hatten die Versuche Meyers nur bei der Composite Cacalia guten Erfolg. Nadson dagegen gibt eine ganze Reihe von Pflanzen an, die aus Glycerin Stärke bilden. Treboux hat neuerdings auch einen fünfwertigen Alkohol, den Adonit, bei Adonis vernalis als wirksam gefunden. Merkwürdigerweise ergaben Dextrin, ein Produkt der hydrolytischen Spaltung der Stärke, in Laurents Versuchen ein negatives Resultat.

Wenn wir uns mit Schimper (1885) auf den Standpunkt stellen, daß die Glykose das Ausgangsmaterial für die Bildung der Stärke (die ja als Traubenzuckerkomplex angesehen werden muß) ist, so geben die obigen Versuche allerdings durchaus kein klares Resultat. Immerhin zeigen sie mit Sicherheit, daß Kondensationsvorgänge, wie sie zum Teil in gleicher, zum Teil in ähnlicher Weise bei der Kohlehydratsynthese stattfinden, welche der CO_2-Spaltung folgt, völlig unabhängig vom Licht vor sich gehen können. Auch vom Chlorophyll sind sie unabhängig, denn es hat sich herausgestellt, daß alle Arten von Chromatophoren zur Stärkebildung aus Zucker befähigt sind (Winkler 1898). Die Versuche legen die Annahme sehr nahe, daß in der Pflanze Umwandlungen und Aufspaltungen von Kohlehydraten der Stärkebildung vorangehen oder wenigstens vorangehen können. Auch darf wohl geschlossen werden, daß außer der Stärke andere Kohlehydrate, vielleicht auch höhere Alkohole und Körper ganz anderer Konstitution in den Assimilationsorganen aufgespeichert werden können. Schon das Vorhandensein von Zucker- und Stärkeblättern beweist, daß die Kondensationsvorgänge bei verschiedenen Pflanzen nicht gleich verlaufen; dasselbe können wir unbedenklich für die Stärkeblätter selbst annehmen. Was in dieser Hinsicht für die höheren Pflanzen gilt, läßt sich auch ohne weiteres auf die

Digitized by Google

niederen übertragen. Von ihnen sind die Zygnemaceen in dieser Beziehung ziemlich genau untersucht worden. Klebs fand (1888), daß sie im Dunkeln aus Zucker merkwürdigerweise keine Stärke bilden können, dagegen leicht in Glycerinlösungen. Dieses Verhalten weicht also von dem der meisten höheren Pflanzen ab. Volvocaceen und Protococcoideen können dagegen Zucker zu Stärke verarbeiten. Es ist in dieser Beziehung auch von Interesse, daß viele niedere Grünalgen die verschiedensten organischen Säuren, wenn sie in Form neutraler Salze geboten werden, im Dunkeln zum Stärkeaufbau verwenden, und zwar sind dies nicht nur N-freie Carbonsäuren, sondern auch Amidosäuren (Treboux 1905). Letztere werden, wie aus der Ammoniakentwickelung in den Kulturen hervorgeht, zunächst zersetzt. Auch für erstere dürfte eine der Kohlehydratsynthese vorausgehende Spaltung anzunehmen sein, und damit wäre uns in den Verlauf dieser selbst durch das Versuchsergebnis kein näherer Einblick gestattet. Deshalb soll auch hier auf die zahlreichen anderen Versuche über die organische Ernährung der Algen nicht eingegangen werden. Immerhin sind sie bemerkenswert, weil sie uns wiederum zeigen, daß jedenfalls unter Umständen auch Stoffe als Ausgangsmaterial der Stärkebildung fungieren können, die normalerweise vermutlich nicht als Zwischenstufen auftreten. Vielleicht wird eine systematische Prüfung der Körper, die namentlich nach E. Fischers Untersuchungen bei der Synthese der Hexosen in Frage kommen, die Sachlage etwas klären. Von den besprochenen höheren Pflanzen und Grünalgen zeigen die anderen CO_2-assimilierenden Pflanzen in bezug auf das Endprodukt der Assimilation ein vielfach abweichendes Verhalten. Das gilt für die Euglenen, Diatomeen, Peridineen, Siphoneen, Phaeophyceen und Florideen. Die Euglenen enthalten Paramyulm, ein Kohlehydrat von der empirischen Formel der Stärke, das aber durch Jod nicht gebläut wird. Die nähere Konstitution ist unbekannt. Ob bei Diatomeen überhaupt Kohlehydrate als Assimilationsprodukte auftreten, ist zweifelhaft. Es scheinen hier fette Oele diese Rolle zu übernehmen. Für die Peridineen, Vaucheria und andere Siphoneen scheinen die Dinge ähnlich zu liegen. Klebs fand bei Vaucheria Vermehrung des Oels im Licht. Im Abschnitt 3 wurde betont, daß die Bestimmung des assimilatorischen Koeffizienten hierüber Aufklärung bringen könnte. Der Wert $\frac{CO_2}{O_2}$ müßte größer sein als eins, wenn die Assimilate Fette sind. Ueber die Natur der Phaeophyceenassimilate ist es noch nicht möglich, ein abschließendes Urteil zu fällen. Hansteen (1892, 1900) sieht einen von ihm als Fucosan bezeichneten Körper als Assimilationsprodukt an und hält ihn für ein Kohlehydrat. Das Fucosan soll zunächst in Form kleinster Kügelchen an der Oberfläche der Chromatophoren auftreten, dann abgeschnürt werden und ins Plasma gelangen. Die ausgeschiedenen Körper verschmelzen dort nach Hansteen vermutlich miteinander zu größeren. Nach Crato (1892) und Brown (1894), denen neuerdings auch Kylin (1912) beipflichtet, handelt es sich nicht um kompakte Körper, sondern um Vakuolen mit flüssigem Inhalt. Das, was Hansteen für die Kohlenhydratnatur seines Fucosans beigebracht hat, ist kein stichhaltiger Beweis. Durch andere Forscher ist jedoch die chemische Beschaffenheit der Phaeophyceenassimilate ebensowenig aufgeklärt worden. — Etwas besser sind wir über die Assimilationsprodukte der Rotalgen unterrichtet. Aus Kolkwitz' (1904) Untersuchungen geht hervor, daß der als Florideenstärke bekannte Körper unter dem Einfluß des Lichts entsteht und in seinem ganzen physiologischen Verhalten der Phanerogamenstärke analog ist. Nur darin besteht nach Schmitz (1883) und Schimper (1885) ein wesentlicher Unterschied, daß die Florideenstärkekörner nicht in den Chromatophoren entstehen, sondern im Plasma gebildet werden. Jod färbt sie gelbbraun bis bräunlichrot. Echte Stärke liegt also nicht vor, wohl aber spricht manches dafür, daß es sich um ein ähnliches Kohlehydrat, vielleicht um Amylodextrinstärke, handelt.

Auf die energetischen Verhältnisse der Photosynthese soll erst bei Behandlung des Lichts eingegangen werden. Dagegen mögen hier noch einige Zahlen Platz finden, die von der assimilatorischen Leistung der Pflanzen eine annähernde Vorstellung geben. Unter Zugrundelegung der Werte, die man für die Assimilationsgröße gefunden hat, läßt sich natürlich leicht berechnen, wieviel eine Pflanze bei der durchschnittlichen Lichtintensität des Tages insgesamt an Kohlehydraten gewinnt. Man gelangt da, wie wir gleich sehen werden, zu sehr hohen Werten. Inwieweit sich solche Durchschnittszahlen der Wahrheit nähern, ist natürlich schwer zu sagen. Es möge nur hervorgehoben werden, daß sie vermutlich meist etwas zu hoch gegriffen sind, denn die Assimilationsversuche, die ihnen zugrunde liegen, beziehen sich gewöhnlich auf Blätter, die vorher durch längeres Verdunkeln ihrer Stärke beraubt worden sind. Auch werden zu den Versuchen meist abgeschnittene Blätter verwandt, deren Assimilationsgröße mit der von Blättern an der Pflanze nach Brown und Escombe (1905) durchaus nicht über-

Digitized by Google

einstimmt. Wir wissen, daß die Assimilationsgröße recht erheblich von der Menge der gebildeten Assimilate abhängt. Wie Saposchnikoff (1890) zuerst gezeigt und A. Müller (1904) bestätigt hat, kann sie trotz günstiger Beleuchtung gleich Null werden, wenn das Blatt bereits mit Assimilationsprodukten überladen ist. Das kann natürlich in der Natur auch mehr oder weniger vorkommen und ist in Rechnung zu ziehen.

Becquerel hat zuerst (1868) einige Werte berechnet, die hier Platz finden mögen. Danach assimiliert:

1 ha Wald in unserem Klima, jährlich ca. 1800 kg Kohlenstoff.
1 ha gut gedüngte Wiese, jährlich ca. 3500 Kohlenstoff,
1 ha Acker, mit Sonnenblumen bepflanzt, jährlich ca. 6000 kg Kohlen stoff.

Nach Ebermeyers Berechnungen (1885) gelangt man zu erheblich höheren Werten. Danach würde 1 ha Wald jährlich sogar 3000 kg Kohlenstoff speichern, die gesamte Waldfläche Bayerns in der gleichen Zeit etwa 8 000 000 000 kg. Bedenkt man, daß der Gesamtgehalt der CO_2 in der Atmosphäre ca. 2000 bis 3000 Billionen kg beträgt, so ist dieser Wert im Vergleich zu obigem recht gering.

Daß sich der CO_2-Gehalt der Atmosphäre nicht merklich ändert, rührt eben daher, daß ungeheuere CO_2 - Mengen der Atmosphäre zurückgeliefert werden. Allein die Atmung der Tiere macht einen sehr großen Prozentsatz aus. Auch die Bakterien und Pilze, die die abgestorbenen Pflanzen- und Tierreste zersetzen, nehmen daran wesentlichen Anteil. Der in früheren Erdepochen von den Pflanzen gespeicherte Kohlenstoff wird bei der Verbrennung der Kohlen ebenfalls wieder an die Luft zurückgegeben.

6. Das Chlorophyll (Blattgrün). Das Chlorophyll ist, wie wir sahen, zur Photosynthese unbedingt nötig. Wir wollen hier seine chemische Konstitution, seine Bildungsbedingungen in der Pflanze und die Art seiner Beteiligung am Assimilationsvorgang kurz behandeln.

Durch die Untersuchungen von Schunck und Marchlewski (1901 [Zusammenfassung] u. ff.), Tswett (1896 bis 1911) u. a., in jüngster Zeit aber ganz besonders durch die bahnbrechenden Arbeiten von R. Willstätter und seinen Schülern (1900 bis 1912) sind wir über die Natur der Farbstoffe, die sich im Chlorophyllkorn finden, jetzt weitgehend aufgeklärt. Die Chloroplasten enthalten ein Gemisch mehrerer Stoffe. Schon Kraus (1872) hat ein Entmischungsverfahren angegeben. Setzt man zu dem grünen alkoholischen Blattextrakt Benzin (oder Petroläther) und schüttelt unter tropfenweisem Zusatz von Wasser, so geht ein grüner, blutrot fluoreszierender Farbstoff in das Benzin über, der Alkohol bleibt gelb. Diese Gelbfärbung beruht vornehmlich auf dem Vorhandensein von Xanthophyll. Außerdem ist in den Chloroplasten noch ein anderer gelbroter Farbstoff vorhanden, das Karotin, derselbe, der die Färbung der Möhrenwurzel (Daucus Carota) bedingt. Es ist ein hochmolekularer Kohlenwasserstoff von der Formel $C_{40}H_{56}$; Xanthophyll ist ein Oxydationsprodukt des Karotins und hat die Formel $C_{40}H_{56}O_2$. Aeltere Untersucher haben vielfach die Meinung ausgesprochen, daß der grüne Farbstoff, der nach Entfernung der gelben Beimischungen erhalten wird — das Chlorophyll im eigentlichen Sinne —, kein einheitlicher Körper sei, sondern daß es eine ganze Reihe äußerlich gleich erscheinender Pigmente gäbe und die verschiedenen Pflanzen verschiedene solcher Farbkörper enthielten. Auch Willstätter hat bis vor kurzem noch die Meinung vertreten, daß in den Chloroplasten mindestens zwei Chlorophyllarten gleichzeitig vorhanden seien, und zwar ein leicht kristallisierbarer Körper, den schon Borodin (1882) und Monteverde (1893) in Händen gehabt haben, ohne jedoch seine Struktur zu erkennen, und ein nahe verwandter amorpher Körper. Der erstere war besonders leicht aus den Blättern ganz bestimmter Pflanzen zu gewinnen, z. B. aus Galeopsis tetrahit, woraus hervorzugehen schien, daß er sich hier in größerer Menge als in anderen befinde. Wir werden gleich sehen, aus welchen Gründen diese Anschauung zu modifizieren ist.

Wenn das im Blattextrakt enthaltene Chlorophyll mit Säuren oder Alkalien behandelt wird, so erhält man verschiedene Derivate. Die Behandlung mit Säuren führt zunächst zur Abspaltung von Magnesium, welches sich im Chlorophyll in organischer Bindung findet.

Den so gewonnenen Mg-freien Körper nennt Willstätter Phaeophytin. Er hat erkannt, daß dieser Stoff die Eigenschaften eines Esters besitzt und erhielt nun bei der Verseifung einen Alkohol von der Formel $C_{20}H_{39}OH$, den er Phytol nennt, außerdem zwei Gruppen N-haltiger Körper, die Phytochlorine (die in neutraler Lösung olivengrün sind) und die Phytorhodine (von roter Farbe und stark fluoreszierend). In späteren Arbeiten zeigte sich dann, daß bei möglichster Vervollkommnung der Methoden namentlich in bezug auf Vorbehandlung und Extrahieren der Blätter nur je ein Körper dieser beiden Gruppen entsteht, wofür die Bezeichnungen Phytochlorin e und Phytorhodin g eingeführt wurden. Phytol hat die Konstitutionsformel:

Digitized by Google

$$CH_3-CH-CH-CH-CH-CH-CH-C=C-CH-CH_2-OH$$
$$\quad | \quad\; | \quad\; | \quad\; | \quad\; | \quad\; | \quad\; | \quad | \quad |$$
$$CH_3\; CH_3\; CH_3\; CH_3\; CH_3\; CH_3\; CH_3\; CH_3\; CH_3$$

Phytochlorin e und Phytorhodin g haben folgende Zusammensetzung:

$C_{34}H_{36}O_6N_4$ (Molekulargewicht = 596)
und $C_{34}H_{34}O_7N_4$ (Molekulargewicht = 610).

Das Phytol tritt nun bei der Verseifung nicht immer auf. Man erhält es nur, wenn man vom amorphen Chlorophyll ausgeht. Kristallisiertes Chorophyll ergibt niemals Phytol, sondern anstatt dessen einen anderen Alkohol; im übrigen zeigt es dieselben Eigenschaften. Die Natur dieses Alkohols kann eine verschiedene sein. Sehr wichtig war die Entdeckung, daß immer derjenige Alkohol bei der Verseifung entsteht, in welchem das auskristallisierende Chlorophyll gelöst war. Damit war die Annahme sehr nahe gelegt, daß das kristallisierte Chlorophyll nicht der natürliche Pflanzenfarbstoff, sondern bereits ein Substitutionsprodukt ist, in welchem der Alkohol des Lösungsmittels das Phytol verdrängt hat. Es gelang tatsächlich, den einwandfreien Nachweis zu führen, daß dem so ist, womit eine bereits von Tswett ausgesprochene Ansicht bestätigt wurde. Bei besonders schneller und vorsichtiger Extraktion mit Aethylalkohol gewinnt man nämlich auch aus Galeopsisblättern ein Präparat, das über 30% seines Trockengewichts an Phytol enthält. Das stimmt völlig überein mit dem aus anderen Pflanzen (nicht weniger als 200 verschiedene wurden untersucht) gewonnenen amorphen Chlorophyll. Letzteres wird als Phytylchlorophyllid bezeichnet; durch Umesterung kann hieraus kristallisiertes Methyl- oder Aethylchlorophyllid leicht gewonnen werden und ebenso ist es möglich, aus diesem wieder das Phytylchlorophyllid durch Ersatz des Methyls oder Aethyls durch Phytyl darzustellen. Diese Umesterung geschieht nur in Gegenwart eines Katalysators (Chlorophyllase genannt), der sowohl die Zersetzung als den Aufbau beschleunigen kann. Mit diesem sehr wichtigen und gewiß auch physiologisch sehr bedeutungsvollen Nachweis (obgleich wir zurzeit über die Wirkung der Chlorophyllase in der Pflanze noch nichts Sicheres zu sagen wissen) war zugleich der Schlüssel dafür gegeben, weshalb bestimmte Pflanzen besonders viel kristallisiertes Chlorophyll im Extrakt ergeben. Sie sind eben besonders reich an wirksamem Enzym und hier bedarf es besonderer Untersuchungsmethoden, um das Phytylchlorophyllid rein zu erhalten. Daß dieses das natürliche Chlorophyll ist, kann nunmehr kaum noch einem Zweifel begegnen. Damit war ein sehr wesentlicher Schritt vorwärts getan. Als empirische Formel für das Präparat wurde gefunden $C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$; hierin sind drei Carboxylgruppen enthalten, von denen eine mit Phytol, eine andere mit Methylalkohol verestert ist. Sonach würde sich ergeben:

$(C_{31}H_{29}N_4Mg)(CO_2H)(CO_2CH_3)(CO_2C_{20}H_{39})$.

Von diesem höchstwahrscheinlich allen chlorophyllführenden Pflanzen gemeinsamen Körper (auch bei Fucus wurde er nachgewiesen) hat sich nun später herausgestellt, daß er in sich nicht einheitlich ist. Er stellt eine Mischung zweier isomorpher Komponenten dar, eines blaugrünen (Chlorophyll a) und eines gelbgrünen (Chlorophyll b). Von ersterem leitet sich das Phytochlorin e ab, vom letzteren Phytorhodin g. Es sind sehr nahe verwandte Körper, nur in der Oxydationsstufe verschieden. Die Formeln, die sich hieraus ergeben, sind:

für Chlorophyll a $C_{55}H_{71}O_5{}^1/_2N_4Mg$
für Chlorophyll b $C_{55}H_{73}O_6{}^1/_2N_4Mg$

daraus resultiert durch Zusammenziehung die obige Formel des Phytylchlorophyllids.

Ein Blick auf diese Formeln läßt zwei Tatsachen erkennen, die hervorgehoben zu werden verdienen: es fehlen im Chlorophyll Eisen und Phosphor. Ersteres ist deshalb bemerkenswert, weil wir wissen, daß Eisen zur Chlorophyllbildung nötig ist. Wenn man Pflanzen in eisenfreier Nährlösung aufzieht, so entwickeln sie bleiche, sogenannte chlorotische Blätter. Wiesner (1877) hatte daher angenommen, daß Eisen im Chlorophyll enthalten sei; doch hat dies schon Molisch (1891) widerlegt und Willstätters Untersuchungen haben Molischs Ergebnisse bestätigt. Welche Rolle dem Eisen bei der Chlorophyllbildung zukommt, ist noch völlig problematisch. — Der Nachweis, daß das Chlorophyll auch phosphorfrei ist, ist deshalb wichtig, weil man früher auf Grund der Untersuchungen von Hoppe-Seyler annahm, das Chlorophyll sei ein lecithinartiger Körper. Obwohl diese Anschauung auch heute noch verteidigt wird (Stoklasa), so läßt sie sich doch nach Willstätters exakten Untersuchungen nicht mehr aufrecht erhalten.

Auf die Produkte des Chlorophyllabbaus durch Alkalien müssen wir noch einen flüchtigen Blick werfen. Sie haben uns eine äußerst interessante Beziehung des Chlorophylls zum Blutfarbstoff kennen gelehrt. Bei der Verseifung des Chlorophylls wird Mg nicht abgespalten. Es entsteht bei dieser alkalischen Hydrolyse das sogenannte Chlorophyllin, eine dreibasische Säure, aus der sich drei einbasische Verbindungen: Phyllophyllin,

Digitized by Google

Rhodophyllin und Pyrrophyllin gewinnen lassen. Wird aus diesen Körpern durch Säure das Mg abgespalten, so entstehen 3 Porphyrine. Unter ihnen ist nun das Phylloporphyrin dasjenige Reduktionsprodukt des Chlorophylls, welches dem aus dem Blutfarbstoff gewonnenen Hämatoporphyrin sehr nahe steht. Die Entdeckung dieser wichtigen Beziehung verdanken wir Marchlewski. Das Hämatoporphyrin ist Dioxyphylloporphyrin von der Formel $C_{32}H_{36}N_4O_6$. Beide Körper lassen sich auf Hämopyrrol zurückführen.

Von den physikalischen Eigenschaften des Chlorophylls ist vor allem seine Lichtabsorption wichtig. Figur 8 und 9 zeigen uns zwei Reihen von Absorptionsspektren des Methylchlorophyllids a und b. Diese Spektra stimmen in allen wesentlichen Zügen mit denen des Chlorophyll a und b überein; das Spektrum des in der Pflanze enthaltenen Chlorophyllfarbstoffs ergibt sich also aus einer Kombination beider. Das Chlorophyll a hat mit Ausnahme der Endabsorption im violetten-ultravioletten Teil des Spektrums sieben scharf getrennte Absorptionsbänder, deren Deutlichkeit und Breite, wie aus Figur 8 hervorgeht, natürlich von der Schichtdicke der Lösung und der Intensität des durchgehenden Lichts abhängt. Die Absorptionsbänder haben bei einer Schichtdicke der Lösung von 20 mm, wenn letztere 0,0437 g des Farbstoffs in 1 l Aether enthält (Lichtquelle eine Nernstlampe, Spaltbreite 0,1 mm) folgende Ausdehnung (Wellenlänge (λ) ist in $\mu\mu$ angegeben):

Band:	Ausdehnung:
I	678—643
II	624—601
III	586—565
IV	539—524
V	504—499
VI	466—453[1])
VII	446—...... (Endabsorption[2]))

Ordnet man die Bänder nach der Intensität der Absorption, so ergibt sich folgende Reihenfolge: VIII (Endabsorption), VII, I, VI, II, III, IV, V. Wir ersehen daraus, daß die Absorption am stärksten im Violett, Indigoblau und Rot ist.

Die entsprechenden Werte für Chlorophyll b, dessen Absorptionsspektrum neun Bänder hat, sind:

[1]) Zwischen λ 453 und 446 $\mu\mu$ findet bei der Schichtdecke 20 mm eine sehr schwache Absorption statt.

[2]) Band VII ist nur bei geringer Schichtdicke (2,5 mm) noch getrennt wahrnehmbar, schon bei 5 mm verschmilzt es mit der Endabsorption.

Band	Ausdehnung:
I	669—659[1])
II	654—630
III	614—610
IV	600—584
V	572—560
VI	546—530
VII	507—497
VIII, IX	487— Endabsorption[2])

Der Intensität nach ordnen sich die Bänder wie folgt: VIII, II, IX, X (Endabsorption), I, IV, III, VI, V, VII.

In Uebereinstimmung mit Chlorophyll a läßt Chlorophyll b im Ultrarot jenseits der Linie B und im Grün zwischen $\lambda = 510—520 \mu\mu$ auch bei einer Schichtdecke der Lösung von 160 mm das Licht restlos passieren.

Wir ersehen aus den mitgeteilten Daten, daß ein erheblicher Teil des auf die Blätter fallenden Lichts vom Chlorophyll zurückgehalten wird und darin beruht vermutlich dessen Hauptbedeutung für den Assimilationsvorgang. Denn begreiflicherweise kann von der Pflanze nur die Energie solcher Strahlen ausgenutzt werden, die absorbiert werden. Daraus folgt allerdings nicht, daß diese alle verwendet werden müssen. Wir werden uns mit dieser Frage im nächsten Abschnitt beschäftigen.

Mit der bloßen Konstatierung der Tatsache, daß das Chlorophyll ein Lichtfilter ist, ist für die Erklärung der Rolle, die es beim Assimilationsprozeß spielt, freilich noch nichts gewonnen. Die Hauptsache ist ja, daß die Lichtenergie auf die CO_2 einwirkt und diese reduziert, und daß sie in potentielle chemische Energie übergeführt wird. Timiriazeff (1877) hat zuerst darauf hingewiesen, daß das Chlorophyll hierbei die Rolle eines Sensibilisators spielen könnte. Er ging dabei von dem bekannten Beispiel der reduzierenden Wirkung des Lichts auf Silbersalze aus. Bekanntlich sind es vornehmlich die kurzwelligen Strahlen, die diesen Einfluß ausüben. Die Wirkung der anderen Spektralbezirke ist im Vergleich dazu sehr gering und daher gelingt es nicht, auf einer gewöhnlichen photographischen Platte rote Gegenstände von schwarzen zu unterscheiden. Nun weiß man aber schon lange, daß Zugabe bestimmter Farbstoffe die photographische Platte auch für andere Farben als Blau und Violett empfindlich machen, sensibilisieren kann, z. B. auch für Rot, oder richtiger, daß

[1]) Zwischen λ 659 und 654 $\mu\mu$ ist bei 20 mm Schichtdicke ebenfalls Absorption vorhanden, doch heben sich die Bänder I und II noch scharf hervor.

[2]) Band VIII und IX sind bereits bei 10 mm Schichtdicke nicht mehr zu trennen (siehe Fig. 9).

Digitized by Google

die Empfindlichkeit für diesen Spektralbezirk dadurch gesteigert werden kann. Es sind das solche Farbstoffe, welche Rot absorbieren, unter anderen auch das Chlorophyll. Das absorbierende Medium macht also die Energie der roten Strahlen nutzbar, es ermöglicht im reagierenden System deren Aufspeicherung als chemische Energie. Ganz ähnlich wäre nach Timiriazeff die Beteiligung des Chlorophylls an der Zerlegung der CO_2 zu beurteilen.

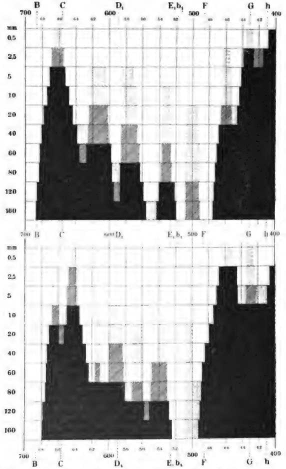


Fig. 8 u. 9. Nach Willstätter. Fig. 8. Absorptionsspektra vom Methylchlorophyllid a. Fig. 9. Dasselbe vom Methylchlorophyllid b.

Gewiß ist diese Theorie ansprechend, dennoch dürfen wir uns nicht darüber hinwegtäuschen, daß zwischen Silberhaloïden und CO_2 recht erhebliche Unterschiede bestehen. Es handelt sich darum, nachzuweisen, ob diese qualitativer oder quantitativer Natur sind. Zunächst werden Silbersalze auch ohne Anwesenheit eines Sensibilisators reduziert. Die CO_2-Assimilation geht aber nur in Gegenwart des Chlorophylls vor sich.[1]) Eine Lichtempfindlichkeit der CO_2 ist bisher nicht nachgewiesen. Daß sie nicht existiert, soll damit allerdings nicht behauptet werden; es wäre ja möglich, daß sie infolge ihrer geringen Größe dem Nachweis bisher entgangen ist. Prinzipiell ist aber an der Möglichkeit, daß irgendwelche Strahlen der Sonne, die vielleicht ihrer Wellenlänge nach weitab von dem sichtbaren Teil des Spektrums liegen, die CO_2 reduzieren, um so weniger zu zweifeln, als es gelungen ist, unter dem Einfluß dunkler elektrischer Entladung, also strahlender Energie, diese Zersetzung herbeizuführen (W. Löb, 1904).

Trotz alledem können die Dinge nicht so einfach liegen,

[1]) Hier wie überall in diesem Artikel ist, von den Nitro- und anderen Bakterien abgesehen, die auch ohne Chlorophyll im Dunkeln CO_2 spalten und zum Aufbau organischer Substanz verwenden.

Digitized by Google

denn dann müßte es ja leicht gelingen, den Assimilationsprozeß in vitro durchzuführen, indem man einfach eine CO_2-haltige Chlorophyllösung dem Lichte aussetzt. Daß alle Versuche in dieser Richtung als fehlgeschlagen zu betrachten sind, haben wir bereits gesehen. Es müssen sonach eben noch besondere Bedingungen dazukommen, die wir nicht näher kennen. Versuche Ewarts (1896) und Irvings (1911), welche durch Narcotica und andere Mittel die Assimilationstätigkeit der Pflanze zeitweise ausschalten konnten, deuten auf Mitwirkung der Plasmatätigkeit. Doch hat Euler (1909) mit Recht hervorgehoben, daß der Prozeß dadurch zum Stillstande kommen könnte, daß die Reaktionsprodukte unter dem Einfluß der Gifte sich schnell so stark anhäufen, daß nach dem Massenwirkungsgesetz die Anfangsreaktion gehemmt wird. Es ist auch gelungen, an isolierten Chloroplasten im Lichte Sauerstoffausscheidung nachzuweisen, danach würde das Vorhandensein von lebendigem Chromotophorenstroma neben dem Chlorophyll genügen. Nach Hausmann (1909) ist der photodynamische Einfluß des Chlorophylls so zu denken, daß es als Energieüberträger wirkt und somit zwischen dem lichtempfindlichen und dem an sich lichtunempfindlichen Chloroplastenstroma vermittelt.

Es wird wohl noch geraume Zeit dauern, bis das Problem in seinen Einzelheiten aufgeklärt ist. Bei der fundamentalen Bedeutung die es besitzt, kann es nicht wundernehmen, daß außer der Hypothese Timiriazeffs noch viele andere aufgestellt worden sind. Ein großer Teil derselben kann durch die modernen Ergebnisse der Forschung als erledigt gelten. Wir erwähnen nur noch eine, die von der stofflichen Beteiligung des Chlorophylls am Assimilationsvorgang ausgeht. Sie rührt von Willstätter her (der im übrigen die Sensibilisationstheorie nicht verwirft) und beruht auf der Entdeckung Grignards (1900), daß metallorganische Verbindungen die Eigenschaft haben, mit Aldehyden und Ketonen leicht in Reaktion zu treten. Es entstehen dabei sekundäre oder tertiäre Alkohole der nächsthöheren Ordnung. Damit würde also das Vorhandensein des Magnesiums im Chlorophyll zur Kohlehydratsynthese in Beziehung gesetzt.

Die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze hängt von den verschiedensten Bedingungen ab. So ist seit langem bekannt, daß die meisten Pflanzen im Dunkeln nicht ergrünen. Für die Angiospermen hat dieser Satz, soweit sich urteilen läßt, ausnahmslos Geltung. Für Gymnospermenkeimlinge hat jedoch schon 1859 Sachs nachgewiesen, daß sie auch im Dunkeln Chlorophyll bilden; auch für Pteridophyten, Laubmoose und Algen ist das festgestellt worden. Da wir keinen Grund haben, anzunehmen, daß das Chlorophyll dieser Pflanzen von dem der Angiospermen verschieden ist (siehe oben), so wird dessen Bildung jedenfalls durch eine bei diesen nicht vorhandene chemische (katalytische?) Wirkung ausgelöst. In etiolierten Angiospermenkeimlingen bewirkt Licht momentan die Chlorophyllbildung. Monteverde (1894) fand sie bereits nach 1 bis 5 Sekunden langer Beleuchtung durch diffuses Tageslicht. Äußerlich ist den Pflanzen dann allerdings keine Veränderung anzusehen, doch läßt sich durch spektroskopische Untersuchung einwandsfrei zeigen, daß im alkoholischen Pflanzenextrakt die Absorptionslinien des Chlorophylls auftreten, welche bei Pflanzen, die in totaler Dunkelheit aufgezogen wurden, völlig fehlen. Liro (1908) hat den sehr wichtigen Nachweis geführt, daß das Ergrünen selbst ein photochemischer Prozeß ist, der sich in abgetöteten Pflanzen ebenso leicht durchführen läßt wie in lebenden. Der Vorgang erfolgt schon bei sehr tiefer Temperatur (z. B. in erfrorenen Pflanzenteilen) und ist vom Sauerstoff gänzlich unabhängig. Wenn frühere Untersucher übereinstimmend das Ausbleiben der Chlorophyllbildung bei Sauerstoffabschluß angegeben haben, so liegt das daran, daß sie die einzelnen Phasen des Prozesses nicht genügend unterschieden haben. Nicht das Chlorophyll selbst bedarf zu seiner Entstehung des Sauerstoffs, sondern seine farblose Muttersubstanz, die Liro im Anschluß an Sachs Leukophyll nennt. Dieses Leukophyll ist also ein Körper von vielleicht gleichem O-Gehalt wie das Chlorophyll, dem aber im Molekül die chromophore Gruppe fehlt. Seine chemische Konstitution ist im übrigen noch ganz unbekannt. Es ist ziemlich unbeständig und geht leicht in einen gelblichgrünen Stoff mit charakteristischem Spektrum über, das Protochlorophyll. Was man früher Etiolin nannte und als den Farbstoff der Chromatophoren etiolierter Pflanzen ansah, entspricht zum Teil diesem Protochlorophyll. Es handelt sich nur um ein postmortales Zersetzungsprodukt des Leukophylls, bildet sich aus diesem beim Extrahieren der Blätter sehr schnell und ist darum für den Nachweis, ob dieser Körper, dessen Isolierung bislang nicht gelungen ist, in der Pflanze vorhanden war oder nicht, sehr wichtig. Die photochemische Umwandlung von Leukophyll in Chlorophyll folgt dem Produktgesetz, d. h. bei gleicher Lichtmenge (Intensität × Zeit der Einwirkung) wird gleich viel Chlorophyll gebildet. Je geringer die Kerzenstärke der Lichtquelle ist, um so länger muß sie demnach einwirken, um den gleichen Effekt zu erzielen wie intensiveres Licht, das entsprechend kürzer wirkt.

Digitized by Google

Eine völlige Umwandlung der in etiolierten Pflanzen ursprünglich vorhandenen Leukophyllmenge in Chlorophyll hat noch keine sichtbare Ergrünung zur Folge. Diese tritt jedoch bald auf Kosten des schnell nachgebildeten Leukophylls ein. Der Entstehungsprozeß des Leukophylls ist es nun, der durchaus an die Plasmatätigkeit gebunden ist und auch von dem Vorhandensein einer bestimmten minimalen Sauerstoffkonzentration abhängt. Vermutlich sind auch andere Bedingungen, die man früher für die eigentliche Chlorophyllbildung für unerläßlich hielt, nur zur Entstehung des Leukophylls nötig, so z. B. der Zucker, in dessen Abwesenheit Palladin (1897) bei Lupinenblättern kein Ergrünen sah. Die Beobachtung, daß bei niederen Temperaturen Blätter nicht sichtbar ergrünen, ist nach obigem ebenfalls darauf zurückzuführen, daß unter diesen Umständen Leukophyll oder irgendwelche Vorstufen desselben nicht entstehen können.

Auf die von Wiesner (1874) nachgewiesene Zerstörung des Chlorophylls durch intensives Licht kann hier nicht eingegangen werden. Welche Stoffe dabei entstehen, ist nicht näher bekannt. Nach Lubimenko (1909) ist die Menge des in einem Blatte gebildeten Chlorophylls von der Lichtintensität abhängig. In intensivem Licht bildet sich weniger, Schattenblätter erscheinen daher dunkler. Die Vergilbung der Blätter im Herbst ist auf Auswanderung des Chlorophylls zurückzuführen, welche nach Stahls Auffassung (1909) eine im Dienste der Oekonomie der Pflanze stehende Einrichtung ist. Da der Farbstoff während der Ableitung seine grüne Färbung verliert, finden auch hier Zersetzungen, vor allem eine Zerstörung der chromophoren Atomgruppe statt.

Außer den reingrünen Pflanzen sind die Cyanophyceen und nichtgrünen Algen zur Photosynthese befähigt. Der Vorgang der CO_2-Zerlegung spielt sich hier, soweit sich ersehen läßt, ebenso ab. Ueber die Pigmente der Blau-, Rot- und Braunalgen sind die verschiedensten Ansichten geäußert worden. Früher nahm man allgemein an, daß dem Chlorophyll ein anderer Stoff beigemischt sei, der die grüne Farbe verdeckt. Es ist neuerdings für die Phaeophyceen die Ansicht geäußert worden (Molisch 1906), daß eine braungefärbte Modifikation des Chlorophylls vorliegt. Die ganze Frage ist noch nicht spruchreif.

7. Das Licht. Das Licht hat als Energiequelle natürlich eine hervorragende Bedeutung, nicht nur für die Pflanze, der dadurch der Kohlenstoff zugeführt und die Möglichkeit des Aufbaus der wichtigsten Zellbestandteile gegeben wird, sondern indirekt auch für das gesamte organische Leben, dessen im Stoffwechsel frei werdende Energie in letzter Linie auf den endothermischen Assimilationsprozeß zurückgeht. Es ist darum nicht korrekt, wenn man bei der Assimilation meist nur von einem Stoffgewinn spricht. Zugleich mit dem Kohlenstoff wird Energie assimiliert.

Wir wollen zunächst einmal versuchen, uns eine Vorstellung davon zu machen, wie groß die von der Pflanze bei der Photosynthese gespeicherten Energiemengen, in Kalorien ausgedrückt, sind. Das läßt sich ja unschwer berechnen, da wir die Verbrennungswärme der Assimilate kennen; die zu ihrer Synthese erforderliche Energie hat natürlich denselben absoluten Wert. Angenommen, es liege Traubenzucker vor, dann entspricht ein Molekül $C_6H_{12}O_6$ 6 Molekülen CO_2. Die entsprechenden Molekulargewichte stehen im Verhältnis 180: $(44 \times 6) = 0{,}682$. Nun hat 1 g Glycose die Verbrennungswärme 3760. Wenn die Pflanze 1 ccm CO_2 (auf 0° und 760 mm Druck bezogen) assimiliert, so gewinnt sie damit, da 1 ccm CO_2 0,001 965 g wiegt und $0{,}001965 \times 0{,}682 = 0{,}001\,339$ g Traubenzucker entspricht, $0{,}001\,339 \times 3760 = 5{,}03$ g-Kal. an Energie. Um die absolute Energie, die eine Pflanze oder ein Pflanzenorgan bei der Assimilation speichert, zu bestimmen, brauchen wir demnach nur die Zahl der verbrauchten ccm CO_2 mit 5,03 zu multiplizieren. Wählen wir ein konkretes Beispiel. In Versuchen von Brown und Escombe (1905) verarbeitete ein Helianthusblatt im diffusen Tageslicht pro qdm während 2 Stunden 6,252 ccm CO_2; das entspricht nach obigem (auf Glykose bezogen) 31,46 g-Kal.

Soll jetzt bestimmt werden, ein wie großer Teil der auf das Blatt bezw. auf 1 qdm Blattfläche fallenden Sonnenenergie zur Photosynthese verwandt wird, so leuchtet ein, daß hierzu nur noch die Kenntnis dieses letzteren Wertes nötig ist. Brown und Escombe (1905) haben solche Bestimmungen in größerer Zahl durchgeführt und gefunden, daß von dem auffallenden Licht selten mehr als 1,5% assimiliert wird, oft viel weniger. Ein weitaus größerer Teil wird bei der Wasserverdunstung verbraucht.

Die folgenden Betrachtungen sollen der Frage gewidmet sein, welchen Einfluß verschiedene Beleuchtung auf die Assimilationsgröße hat. Es ergibt sich da naturgemäß eine Zweiteilung; wir wollen zuerst den Einfluß verschiedener Lichtintensität, dann den verschiedener Lichtqualität (Farbe) untersuchen.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Assimilation noch bei sehr schwacher Lichtintensität stattfinden kann und bei Zunahme derselben eine Steigerung erfährt. Das Minimum liegt begreiflicherweise bei verschiedenen Pflanzen nicht bei derselben Intensität; es ist direkt nicht nachweisbar,

Digitized by Google

da ja der Punkt, an welchem die Zusammensetzung der umgebenden Luft während des Versuchs keine Veränderung aufweist, nicht Ausbleiben der Assimilation anzeigt, sondern nur bedeutet, daß Assimilation und Atmung sich das Gleichgewicht halten. Es bedarf also jedesmal einer Kontrolluntersuchung unter Berücksichtigung der Atmung.

Ehe das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Assimilation und Lichtintensität genauer untersucht werden kann, müssen einige Vorbemerkungen eingeschaltet werden. Wenn man die Abhängigkeit eines physiologischen Geschehens von verschiedenen Intensitäten eines Außenfaktors prüfen will, so pflegt man in der Weise vorzugehen, daß man alle anderen Bedingungen möglichst konstant hält und nur die Intensität des zu untersuchenden Faktors in bestimmter Weise variiert. Damit würde jedoch das Ziel in den wenigsten Fällen vollständig erreicht werden. Gesetzt den Fall, wir würden von einer sehr geringen Lichtintensität ausgehen, diese allmählich steigern und die jeder Intensität entsprechenden Assimilationswerte bestimmen, so würden wir zu Resultaten gelangen, die nur teilweise darüber Aufschluß gäben, welches bei einer gegebenen Intensität die höchstmögliche assimilatorische Leistung ist. Reinke (1883) hat solche Versuche gemacht und gefunden, daß die Assimilation mit der Lichtstärke bis zu einem gewissen Werte steigt, dann aber, trotz weiterer erheblicher Steigerung der letzteren sich annähernd konstant hält. Es wäre verfehlt, hieraus zu schließen, daß das Licht, von einer bestimmten Intensität an aufwärts, die Assimilation nicht weiter beeinflussen könnte. Blackman und Matthaei und etwa gleichzeitig Pantanelli haben gezeigt, daß das sehr wohl möglich ist, und zwar dann, wenn man die CO_2-Zufuhr erhöht. Geht man gleich zu Anfang von einer höheren CO_2-Konzentration aus, so erhält man zunächst ganz dieselbe Kurve wie Reinke, sie erhebt sich jedoch höher und erreicht erst später, d. h. bei intensiverem Licht den Punkt, in welchem trotz Erhöhung der Lichtstärke keine Steigerung der Assimilation mehr stattfindet, der weitere Verlauf somit horizontal wird. Je geringer der CO_2-Gehalt des Außenmediums ist, bei um so niedrigerer Lichtintensität liegt auch dieser Punkt und umgekehrt. Die Konzentration der CO_2 ist also in diesen Fällen ein Hemmschuh für weitere Steigerung der Assimilation, der die gesuchte Abhängigkeitsbeziehung zum Teil verdunkelt; sie fungiert, um mit Blackman zu reden, als „begrenzender Faktor“. In gleicher Weise können natürlich auch andere Bedingungen wirken, z. B. die Temperatur, die Chlorophyllkonzentration (Lubimenko 1908) usw. Auch wenn CO_2 in hinreichender Menge zur Verfügung steht, kann in einem bestimmten Punkte der horizontale Lauf der Kurve wegen zu niedriger Temperatur erscheinen. Die graphische Darstellung (Fig. 10) gibt ein Bild von diesen Verhältnissen. Zwar ist in den 3 Kurven der umgekehrte Fall, Begrenzung der Temperaturwirkung durch Licht, wiedergegeben, doch erhalten wir im Prinzip dieselben Kurven, wenn wir die Wirkung der Faktoren umkehren. Die eigentliche Wirkung des Lichts in allen Teilen der Kurve offenbart sich erst dann, wenn alle Hemmnisse beseitigt sind, d. h. wenn die übrigen Bedingungen ihrer Intensität nach so gewählt sind, daß sie nicht hindernd in den Assimilationsvorgang eingreifen. Mit anderen Worten: das Licht muß in jedem Teil der Kurve selbst begrenzender Faktor sein, es muß der Pflanze immer die Möglichkeit gegeben sein, es voll

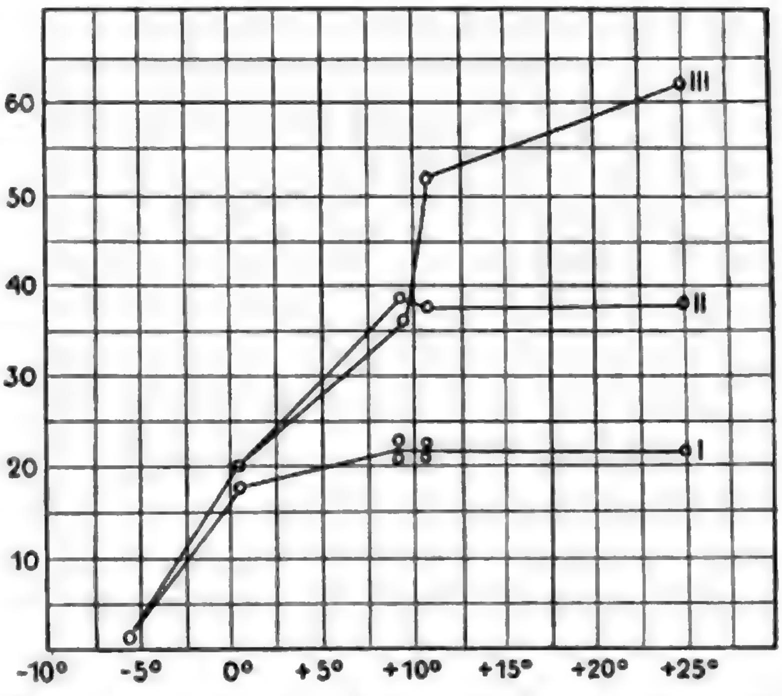


Fig. 10. Nach Matthaei. Wirkung des Lichts als begrenzender Faktor des Temperatureinflusses. Auf der Abszisse sind die Temperaturen, auf der Ordinate die Assimilationsgrößen (ausgedrückt in mg zersetzter CO_2 pro 50 qcm Blattfläche) aufgetragen. Die kleinen Kreise bezeichnen die Beobachtungen, nach denen die Kurven konstruiert worden sind. Der zweitoberste Kreis von Kurve III steht fälschlicherweise bei 51 anstatt bei 46 mg CO_2. Kurve I bezieht sich auf die Wirkung der einfachen, II der doppelten, III der vierfachen Lichtintensität.

Digitized by Google

auszunutzen. Ist das der Fall, dann kann eine Verschiebung der anderen Faktoren die Assimilationsgröße nicht beeinflussen, sofern sie nicht jenen unteren Grenzwert überschreitet, bei welchem eben die hemmende Wirkung eintritt; dann können wir sagen: jeder Lichtintensität entspricht eine ganz bestimmte assimilatorische Leistung des Blattes.

Damit das Bild vollständig wird, ist indessen noch eine zweite, sehr wichtige Erscheinung zu berücksichtigen, die uns zwingt, den eben ausgesprochenen Satz in einem Punkte einzuschränken. Unter Umständen kommt es nämlich sehr darauf an, ob wir die Assimilationsgröße sofort bei beginnender Bestrahlung des Objekts mit Licht von bestimmter Intensität messen, oder ob wir diese Messung erst nach einiger Zeit ausführen. Wenn nämlich sehr hohe Lichtstärken in Betracht kommen, so erhält man im letzteren Falle einen bedeutend geringeren Wert als im ersteren. Es kommt hier, wie ebenfalls Blackman zuerst näher ausgeführt hat, ein Zeitfaktor hinzu, der den Verlauf der Kurve stark beeinflussen kann.

Sachs hat bekanntlich in seinen grundlegenden Arbeiten die Lehre der sogenannten Kardinalpunkte geschaffen. Nach dieser Lehre wird jede physiologische Funktion bei allmählicher Intensitätszunahme eines Außenfaktors zunächst ebenfalls gesteigert, bei sehr hoher Intensität aber wieder herabgedrückt. Wenn wir das in einer Kurve aufzeichnen, deren Abszisse die Intensitätsgrade des Außenfaktors, deren Ordinate die Stärke der physiologischen Funktion bezeichnet, so hat diese Kurve einen typisch eingipfeligen Verlauf. Diejenigen beiden Intensitäten (Anfang und Ende der Kurve), die gerade noch das Funktionieren ermöglichen, nennt Sachs Minimum und Maximum, der Gipfel der Kurve, also der Punkt höchster physiologischer Leistung, bezeichnet das Optimum. Es unterliegt keinem Zweifel, daß wir solche Kurven tatsächlich erhalten können, allerdings nur dann, wenn die oben bezeichneten Grenzwirkungen wegfallen. Die Einführung des Zeitfaktors lehrt indessen, daß diese Kurven keine primären sind und daß der Abfall in einer sekundären Erscheinung begründet ist. Um dies zu erkennen, wollen wir untersuchen, wie es sich mit der Assimilation verhält, wenn unter der Voraussetzung, daß der herabdrückende Einfluß anderer Faktoren ausgeschlossen ist, Licht von verschiedenen Intensitäten längere Zeit (mehrere Stunden) auf die Pflanze einwirkt. Bei geringer Lichtstärke wird der anfängliche Assimilationswert sich konstant erhalten. Erreicht ersterer jedoch eine bestimmte Größe, dann tritt nach einiger Zeit ein Absinken der Assimilation ein. Die einer konstanten Intensität entsprechende Zeitkurve nimmt keinen horizontalen Verlauf mehr, sondern senkt sich allmählich. Je höher die Intensität steigt, um so schneller tritt dieses Absinken ein, und schließlich wird der Abfall rapide. Die Anfangswerte der Assimilationsgröße sind, soweit sich nach dem vorliegenden Material (das allerdings noch der Vervollständigung bedarf) urteilen läßt, auch bei intensivem Licht um so größer, je höher die Lichtstärke ist. Für diese Anfangswerte bekommen wir also eine Kurve, die stetig ansteigt und ihren theoretischen Endpunkt da erreicht, wo die Maximalwirkung unendlich kurz ist und der Abfall momentan erfolgt. In diesem Punkte wird die Assimilation eben sistiert (Figur 13 kann zur Erläuterung dieses und des folgenden dienen. Die eben erwähnte (primäre) Kurve der Anfangswerte wäre die gestrichelte Linie, der steile Abfall vom Endpunkt ist durch die Linie G angegeben. An Stelle der auf der Abszisse eingetragenen Temperaturen wären Lichtintensitäten zu setzen; siehe im übrigen die Figurenerklärung). Ganz anders wird der Verlauf der Kurve, wenn wir sie aus Beobachtungswerten konstruieren, die einige Zeit, etwa 1 bis 2 Stunden nach Einsetzen der betreffenden Beleuchtungsintensität gefunden sind. Da, wie wir sahen, der Abfall um so schneller erfolgt, je höher die Intensität ist (s. die Kurven C bis G Fig. 13, die den Abfall anzeigen), so finden wir bei hohen Intensitäten nach der gleichen Zeit relativ stärkeren Abfall der Assimilationswerte als bei mittleren. Die Kurve hat also den typischen Charakter der Sachsschen Optimumkurve. Je nach der Zeit, die seit Beginn der Lichteinwirkung verstrichen ist, wird der Verlauf der Assimilationskurve für steigende Lichtintensität steiler oder weniger steil sein und zugleich wird der Höhepunkt um so mehr nach der geringeren Intensität verschoben, je später die Beobachtung erfolgt. Wir erhalten demnach eine große Reihe von Kurven (vgl. Fig. 11 und die dazugehörige Erklärung), und es fragt sich, welche drückt nun die wahre Abhängigkeitsbeziehung zwischen Lichtstärke und Assimilation aus? Offensichtlich ist diese Frage müßig, denn jede hat ihre Berechtigung. Wir ersehen daraus, daß man sich zum Ausdruck dieser Beziehung unter Berücksichtigung des Zeitfaktors zweckmäßigerweise nicht des zweidimensionalen Ordinatensystems, sondern des dreidimensionalen Raums bedienen wird. Damit hat das Sachssche Optimum zweifellos einen Teil seiner Bedeutung verloren und wir können höchstens die Frage aufwerfen, ob man jetzt vielleicht diejenige (höchste) Intensität als optimale bezeichnen will, bei deren Einwirkung die Assimilation auch nach längerer Zeit keine Verminderung erfährt.

Digitized by Google

welche also diejenigen Effekte, die auf Herabsetzung zielen, noch nicht induziert. Da das eine reine Nomenklaturfrage ist, wollen wir ihr hier weiter keine Aufmerksamkeit schenken.

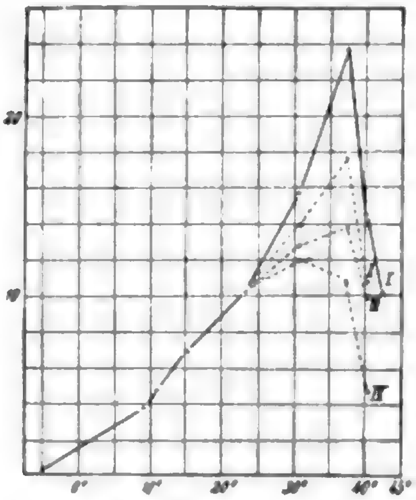


Fig. 11. Nach Matthaei. Aus Jost. Abhängigkeit der Assimilation von der Temperatur. Die gestrichelten Linien II, III, IV zeigen die Abhängigkeitsbeziehung, wie sie sich nach etwa 3-, 4- und 5-stündiger Einwirkung der verschiedenen Temperaturgrade ergibt. Werden an Stelle der verschieden hohen Temperaturen verschieden hohe Lichtintensitäten gesetzt, so ist der Kurvenverlauf im Prinzip der gleiche.

Wichtiger ist es, einiges darüber zu erfahren, wie die Außenfaktoren in der Natur zusammenwirken und den Lichteinfluß beeinträchtigen. Es hat sich schon mehrfach im Verlaufe dieser Darstellung Gelegenheit geboten, Assimilationswerte anzuführen; wir wissen also, in welcher Größenordnung sich diese etwa bewegen. An Licht fehlt es nun tagsüber den Pflanzen meist nicht, vielmehr macht sich in der Natur der herabdrückende Einfluß der Temperatur und vor allem der Kohlensäure in ausgedehntem Maße geltend. Das Licht fungiert also nur selten als hemmender Faktor, in Anbetracht des geringen CO_2-Gehalts der Atmosphäre nur bei geringen Intensitäten, also vorwiegend morgens und abends. Das schließt nicht aus, daß trotzdem recht ansehnliche Assimilationswerte erreicht werden. Schaltet man im Experiment den hemmenden Einfluß zu geringer CO_2-Konzentration durch reichliche Zufuhr dieses Gases aus, so zeigt sich, daß im hellen, diffusen Tageslicht an sehr warmen Tagen die erreichbaren Höchstwerte für die Assimilation verwirklicht werden können. Im direkten Sonnenlicht und ebenso im diffusen Tageslicht bei niederer Temperatur kommt die hemmende Wirkung dieser zum Ausdruck. Ein Beispiel möge das illustrieren. Blackman und Matthaei (1905) fanden für Blätter von Prunus Laurocerasus im Schatten bei 18° eine Assimilation von 0,0075 g CO_2; dabei waren trotz reichlich vorhandener CO_2 wegen der hemmenden Wirkung der Temperatur nur 39% der möglichen Lichtwirkung erzielt. Für höhere Temperaturen ergaben sich folgende Werte:

22°: CO_2-Verbrauch 0,0097 g; Lichtausnutzg. 50%
28°: „ „ 0,0135 g; „ 70%

Nunmehr wenden wir uns der Besprechung des Einflusses der Lichtqualität auf die Photosynthese zu. Aus verschiedenen Gründen hat diese Frage ein besonderes Interesse. Bei der Betrachtung der physikalischen Eigenschaften des Chlorophylls haben wir dessen charakteristisches Absorptionsspektrum kennen gelernt. Es gilt nun, zu entscheiden, ob oder inwieweit die absorbierten Lichtarten bei der Assimilation Verwendung finden. Neben dieser rein physiologischen Frage knüpft sich daran noch die ökologische, ob es für die Pflanze eine biologische Bedeutung hat, daß gerade bestimmte Lichtarten von den Chloroplasten ausgewählt, andere für den Assimilationsprozeß ausgeschaltet werden.

Festzustellen, welche Beziehungen zwischen Absorption des Lichts und Assimilation bestehen und welche Strahlen der Sonne die Pflanze zur Photosynthese benutzt, erscheint auf den ersten Blick nicht schwer. Bedarf es dazu doch nur eines Verfahrens, die einzelnen Lichtqualitäten zu isolieren und zu untersuchen, ob in bestimmten Spektralbezirken eine Assimilation stattfindet und wie groß sie ist. Zwei Wege gibt es, diese Isolierung herbeizuführen: die Filtration des Lichts durch farbige Gläser, Lösungen usw. und die spektrale Zerlegung. Beide Wege sind beschritten worden. Daubeny, der die ersten umfassenden Versuche anstellte (1836), arbeitete mit farbigen Gläsern. Da diese indessen kein monochromatisches Licht durchließen, sind seine Versuche nicht rein und wir können hier von ihnen absehen. Spätere Forscher, zuerst Draper (1844), haben spektral zerlegtes Licht angewandt. Durch Abblenden gelingt es ja leicht, bestimmte Spektralbezirke zu isolieren und auf die Pflanze wirken zu lassen. So verfuhren Pfeffer (1872), Reinke (1884), Timiriazeff (1885). Daneben kam eine andere Methode in Anwendung, deren sich namentlich Sachs (1864) und Pfeffer (1871) bedienten. Sie beruht auf der Möglichkeit, das Spektrum in zwei Teile, einen langwelligen und einen kurzwelligen zu teilen, wenn man das weiße Licht einmal durch eine Kaliumbichromatlösung, das andere Mal durch Kupferoxydammoniak gehen läßt. Die Assimilationsgröße wurde entweder ihrem absoluten Werte nach auf gasanalytischem Wege bestimmt oder man begnügte sich mit Vergleichswerten, die mit Hilfe der Gas-

Digitized by Google

blasenmethode (Sachs) oder der Bakterienmethode (Engelmann; vgl. Abschnitt 2) gewonnen wurden.

Die Resultate, zu denen die verschiedenen Forscher gelangten, stimmen keineswegs überein. Zum Teil liegt das sicher daran, daß gewisse Fehlerquellen nicht immer genügend ausgeschaltet werden konnten, zum anderen Teil daran, daß die mit verschiedenen Methoden erhaltenen Werte oft nicht direkt untereinander vergleichbar sind. So kommt es, daß wir bislang über recht wenig gesicherte Ergebnisse verfügen. — Ueber einen Punkt kann allerdings kein Zweifel bestehen: das direkte Sonnenlicht wirkt im langwelligen rotgelben Teile des Spektrums stärker als im kurzwelligen blauvioletten. Ein Helodeasproß scheidet hinter einer Kaliumbichromatlösung viel mehr Gasblasen in der Zeiteinheit aus als hinter einer blauen Kupferoxydammoniaklösung. Auch im Spektrum zeigt sich eine deutlich stärkere Wirkung der sichtbaren langwelligen Strahlen. Ultrarotes Licht ist ganz ohne Einfluß auf die Photosynthese. Fragen wir nun weiter, welche Strahlenbezirke es im einzelnen sind, so stoßen wir schon auf Meinungsverschiedenheiten. Während nach Pfeffer (1871) die orange bis gelben Strahlen (zwischen den Fraunhoferschen Linien C und D) den größten Effekt haben und damit das Assimilationsmaximum extra in denjenigen Teil des Spektrums fällt, in welchem nach Langleys Messungen die ausgesandte Energie (absolute Helligkeit) ebenfalls am größten ist, kommen Timiriazeff und Engelmann (1884) auf ganz verschiedenen Wegen zu dem Resultat, daß sich das Assimilationsmaximum mit dem Absorptionsmaximum deckt, also im Rot zwischen B und C (Wellenlänge $\lambda = 685-655$ $\mu\mu$) liegt. Timiriazeff arbeitete mit Bambusblättern, die in mit CO_2-reicher Luft versehenen, verschlossenen Glasröhren in verschiedenen Regionen des Spektrums aufgestellt wurden. Der CO_2-Verlust wurde am Ende des Versuchs sehr sorgfältig bestimmt. Engelmann benutzte seine Bakterienmethode und einen von ihm konstruierten Mikrospektralapparat. Durch Veränderung der Lichtstärke (Erweiterung und Verengerung des Spalts, welchen das zu zerlegende Lichtbündel passieren muß) ließen sich für die einzelnen Spektralbezirke die Grenzintensitäten bestimmen, bei denen die Bakterien in der Umgebung der Pflanze (Alge) gerade eben zur Ruhe kamen (vgl. Abschnitt 2). Dadurch wurden die Intensitäten gefunden, bei welchen die Assimilation praktisch den inversen Vorgang der Atmung gerade kompensierte. Je geringer die Intensität ist, bei der dieser Punkt liegt, um so höher muß natürlich der assimilatorische Effekt der entsprechenden Strahlengattung veranschlagt werden. In Engelmanns Versuchen (1883, 1884) wurde, wie bemerkt, bei grünen Pflanzen die höchste Assimilation im Rot zwischen B und C gefunden.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte Reinke (1884), der ebenfalls mit spektral zerlegtem Licht arbeitete. Er fand bei Helodea die Höchstzahl der ausgeschiedenen Gasblasen in der Nähe der Linie B.

Betrachten wir jetzt die kurzwelligen Strahlen, vom Grün an gerechnet, so herrschen über deren Bedeutung nicht weniger geteilte Ansichten. Zwar wird für grünes Licht übereinstimmend eine geringere Wirkung angegeben als für rotes oder rotgelbes; während jedoch nach der Meinung der einen Forscher die Intensitätskurve der Assimilation nach dem blau-violetten Spektralende hin weiter abfällt, fanden andere einen zweiten, wenn auch kleineren Anstieg im Blau und sehen das als einen weiteren Beleg für die Auffassung an, daß das Licht gemäß der Absorption, die es im Chlorophyll erfährt, wirksam ist; der Wellenlänge als solcher schreiben sie keinerlei maßgebende Bedeutung zu. Mit besonderem Nachdruck ist Engelmann für diese Anschauung eingetreten. Er hat, ebenfalls mit seinem Mikrospektralapparat, durch Vergleich zweier Spektren, deren Intensität sich durch Veränderung der Spaltweite in bekannter Weise verändern läßt, gemessen, wieviel in den einzelnen Spektralbezirken von dem auffallenden Licht durch die Chromatophoren einer grünen Algenzelle absorbiert wird und dadurch eine Absorptionskurve erhalten, mit der er seine Assimilationswerte vergleichen konnte. In Figur 12 sind die beiden Kurven wiedergegeben, auf die Engelmann hauptsächlich den Satz gründet, daß die assimilatorische Kraft eine Funktion der Lichtabsorption durch das Chlorophyll ist. Wenn wir die beiden Kurven vergleichen, so möchte es allerdings scheinen, als sei dies nur wenig berechtigt, da ja im Violett die Absorptionskurve dauernd ansteigt, die Assimilationskurve dagegen von der Linie F ab wieder

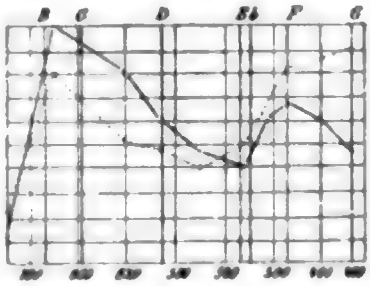


Fig. 12. Nach Engelmann. Aus Jost. Assimilation (ausgezogene Kurve) und Absorption (gestrichelte Kurve) grüner Zellen bei $\lambda = 420-750$.

Digitized by Google

fällt. Doch ist dabei zu berücksichtigen, daß die absolute strahlende Energie in den Absorptionswerten nicht enthalten ist; sie bezeichnen nur das Verhältnis zwischen absorbierter und auffallender Strahlung, sind also Koeffizienten, die erst noch mit dem Intensitätsfaktor multipliziert werden müssen, um Intensitätswerte zu ergeben. Da nun in der Tat im Spektrum des direkten Sonnenlichts die Energie nach dem violetten Teil hin stark abnimmt, so wäre trotz Zunahme des Absorptionskoeffizienten die Senkung der Assimilationskurve wohl zu erklären.

Eine gewichtige Stütze für seine Auffassung sieht Engelmann vor allem in den Beobachtungen, die er an farbigen (braunen und roten) Algen und an Cyanophyceen gemacht hat. Die Färbung der Chromatophoren bedingt hier natürlich Modifikationen des Absorptionsspektrums. So absorbieren die Florideenchromoplasten am meisten Licht zwischen D und E (bei $\lambda = 575\ \mu\mu$), und in der Tat zeigt die Assimilationskurve ihre höchste Erhebung an dieser Stelle. Die Cyanophyceen absorbieren das meiste Licht zwischen C und D und assimilieren nach Engelmanns Befunden auch in diesem Spektralbezirk am stärksten. Auf Grund dieser Uebereinstimmungen gelangt Engelmann zur Formulierung des Satzes, daß stets diejenigen Lichtarten am stärksten wirken, deren Farbe zu der der Chromatophoren komplementär ist. Gaidukow (1902) hat diesen Satz weiter dadurch zu fundieren gesucht, daß er geprüft hat, ob sich die Farbe von Pflanzen experimentell durch Kultur in farbigem Licht verändern läßt. Er fand in der Tat, daß Kulturen von Oscillaria sancta im roten Licht eine grünliche, im grünen eine rote, im blauen braungelbe, kurz immer die zur Beleuchtung komplementäre Färbung annehmen und zeigte auch, daß die Absorptionskurven sich entsprechend ändern. Es kann noch nicht als voll erwiesen gelten, ob diese als „komplementäre chromatische Adaptation“ bezeichnete Erscheinung darauf beruht, daß Zellen gleicher Herkunft unter dem Einfluß des filtrierten Lichts ihre Färbung verändern und ihr Absorptionsmaximum in den Strahlenbezirk verlegen, von dem sie beleuchtet werden, oder ob im Ausgangsmaterial eine Selektion stattgefunden hat, wobei die nichtanpassungsfähigen Organismen oder „Linien“ unterdrückt worden sind. Ausgeschlossen scheint letzteres allerdings in späteren Versuchen von Gaidukow zu sein, in denen Porphyra schon nach kurzer Beleuchtung mit rotem und gelbem Licht grün wurde, mit blauem Licht purpurrot blieb. Ob ein Farbenrückschlag der grün gefärbten Algen zum Rot bei Kultur in blauem Licht eintritt, wird leider nicht angegeben. — Aehnliche Beobachtungen haben Schorler (1907) an Chrysomonaden und Diatomeen, Nadson (1908) an der Grünalge Ostreobium Quekettii und Stahl (1909) an Batrachospermum gemacht. Die Natur selbst macht ein derartiges Experiment: viele Florideen sind an der Meeresoberfläche mehr oder weniger grün gefärbt, in der Tiefe, wohin wenig rotes, aber viel blaues Licht dringt, dunkelrot (z. B. Chondrus crispus). Es wäre von größter Wichtigkeit, wenn die Untersuchungen über diese Frage weiter ausgedehnt würden und dabei vor allem die absolute Intensität der Strahlung eingehende Berücksichtigung fände; denn bis jetzt läßt sich noch nicht sagen, wieweit Unterschiede der Lichtintensität bei den beobachteten Farbenänderungen mit im Spiele sind.

Wir werden unten auf Engelmanns interessante Ergebnisse zurückkommen und wollen hier nur erst die Frage zu beantworten suchen, wie sich die auffallenden Differenzen in den angeführten Resultaten der einzelnen Forscher erklären. Es ist das Verdienst Pfeffers, hervorgehoben zu haben, daß die Zusammensetzung des Lichts eine um so größere Veränderung erleidet, je tiefer es in ein Blatt eindringt. Die in einiger Entfernung von der Oberfläche liegenden chlorophyllführenden Zellen müssen also unter ganz anderen Beleuchtungsbedingungen arbeiten als die direkt an der Oberfläche gelegenen, da sie mindestens zum Teil Licht erhalten, das bereits Chlorophyll passiert hat und dadurch natürlich in bestimmten Strahlenbezirken erheblich geschwächt ist. Dieser Umstand bringt es mit sich, daß die primäre Wirkung des Lichts nur in einer sehr dünnen Schicht zur Geltung kommt. Die Werte, die man z. B. bei Untersuchung von Blättern erhält, ergeben eine sogenannte sekundäre Assimilationskurve. Um die primäre Wirkung einigermaßen rein zu erhalten, bietet sich bisher nur die Bakterienmethode. Engelmann hat nun tatsächlich gefunden, daß die Assimilationswerte auf der direkt beleuchteten Seite einer Cladophorazelle sich anders im Spektrum verteilen als auf der gegenüberliegenden Seite, die das Licht erhält, welches die Zelle passiert hat. Es zeigte sich im letzteren Falle eine Verschiebung des Maximums nach dem Gelb; ein zweites Maximum im Blau war nicht zu erkennen. Damit wird der Unterschied in den Resultaten von Engelmann einerseits, Draper und Pfeffer, die mit Blättern arbeiteten, andererseits verständlich. Doch sind dadurch bei weitem noch nicht alle Differenzen aufgeklärt.

Wir wollen vom spektral zerlegten Licht ausgehen. Es ist klar, daß schon die Natur des Prismas und der Winkel, in welchem die zu zerlegenden Strahlen auffallen, durchaus nicht gleichgültig sind. Sehen wir davon

Digitized by Google

hier ab, so ergibt sich weiter, daß zur Erzeugung annähernd reiner Spektren der Spalt, durch den das auffallende Lichtbündel geht, sehr eng sein muß. Das bedingt eine erhebliche Abschwächung der Gesamtintensität, und es ist sehr fraglich, ob die Befunde, die in so schwachem Lichte gewonnen werden sind, auf stärkere Intensitäten, wie sie entweder in der Natur selbst oder vielleicht schon hinter lichtstarken Filtern herrschen, übertragen werden können. Wir brauchen nur daran zu denken, daß die oben erörterte Wirkung gewisser Grenzfaktoren im einen Falle ausgeschlossen sein, im anderen sich geltend machen könnte. Schließlich ist daran zu erinnern, daß kein prismatisches Spektrum das farbige Licht in der Energieverteilung wiedergibt, in der es sich im Sonnenlicht findet. Es zeigen sich vom sogenannten Normalspektrum immer erhebliche Abweichungen. Vor allem im kurzwelligen, blauvioletten Teil, denn die stärker gebrochenen Strahlen werden auch stärker zerstreut und somit ist die Lichtdichte pro Flächeneinheit des Spektrums im blauen Teil geringer als im roten. Reinke (1884) hat einen einfachen Apparat (Spektrophor) konstruiert, mit Hilfe dessen der erwähnte Fehler kompensiert werden kann. Das Prinzip des Apparats besteht darin, daß Spektralteile von bestimmter Länge abgeblendet und durch eine Sammellinse zu einem objektiven Sonnenbild vereinigt werden. Man hat es so in der Hand, Spektralbezirke, die derselben Differenz der Wellenlängen entsprechen, miteinander vergleichen zu können.

Gebraucht man Lichtfilter (Farbgläser, farbige Lösungen, Gelatineplatten oder ähnliches), so tauchen neue Schwierigkeiten auf. Auch hiermit ist es schwer, wenn nicht unmöglich, eng begrenzte Spektralbezirke zu erhalten, deren Energie nicht zu stark geschwächt ist. Ferner gibt es kein Filter, das eine Strahlengattung vollständig durchläßt und alle anderen zurückhält. Immer werden auch die durchgelassenen Strahlen geschwächt. Da nun diese Schwächung bei verschiedenfarbigen Filtern eine sehr verschiedene ist, so werden wir, auch wenn es gelänge, das Sonnenlicht in eine große Menge kleiner Spektralbezirke zu zerlegen, niemals annähernd ein Normalspektrum erhalten. Ein Beispiel, das zugleich auf einige der oben mitgeteilten Versuchsergebnisse einiges Licht wirft, zeigt das deutlich. Nach Vierordts Angaben (wiedergegeben bei A. Richter, Revue generale de botanique, Bd. XIV, 1902, S. 168) läßt eine 1 prozentige Lösung von $K_2Cr_2O_7$ in 1 cm Schichtdicke von den Strahlen zwischen C und D 95 bis 97,5% durch, eine 4 prozentige Kupferoxydammoniaklösung gleicher Schichtdicke dagegen vom blauen oder violetten Licht höchstens 60%, in der Nähe des Grünblau noch viel weniger. Daraus folgt schon, daß Assimilationswerte, die unter Verwendung dieser Filter gewonnen worden sind, auf die Verhältnisse in der Natur keineswegs übertragen werden können, da für Blau erheblich geringere Assimilationswerte resultieren, als im Normalspektrum gefunden werden würden. Ein reines Normalspektrum des Sonnenlichts von hoher Lichtintensität herzustellen ist nicht gelungen, auch Gitterspektren entsprechen diesen Anforderungen nicht und darin liegt einer der wichtigsten Gründe dafür, daß über die Assimilationsgröße in den einzelnen Partien des Sonnenspektrums noch nichts Sicheres festgestellt werden konnte. Ein anderer Grund liegt in der Inkonstanz oder Verschiedenheit der Lichtquellen. Daß die Resultate anders ausfallen, wenn man anstatt mit Sonnenlicht mit dem Spektrum einer künstlichen Lichtquelle arbeitet, versteht sich von selbst. Aber auch das Sonnenlicht ist eine keineswegs konstante Größe. Im Verlaufe des Tages treten auch bei völlig klarem Wetter im Spektrum erhebliche Intensitätsverschiebungen auf. Das blaue Licht ist mittags am intensivsten, morgens und abends erheblich schwächer. Nach den Messungen von Abney (1887, 1893) ist das Verhältnis der die Erde treffenden Lichtmengen im Rot (Fraunhofersche Linie A) und Blau (Linie F) bei höchstem Sonnenstand (90°) 1 : 0,779; bei einer Sonnenhöhe von 19,3° dagegen 1 : 0,465. Es kommt also sehr auf die Tageszeit an, zu der die Untersuchungen angestellt werden. Daraus ist die Konsequenz zu ziehen, daß zu länger währenden Versuchen eine konstante Lichtquelle oder mindestens eine solche, deren Intensitätsschwankungen im Spektrum bekannt sind, nötig ist. Prillieux (1869) hat zuerst darauf hingewiesen, daß zu exakten vergleichenden Untersuchungen die strahlende Energie in den einzelnen Spektralbezirken gemessen werden muß. Seine Untersuchungen sind jedoch nicht verwertbar, weil er, wie Sachs (1872) hervorgehoben hat, sich zur Energiemessung einer subjektiven Methode bedient hat. Der objektive Vergleich der Energiegrößen ist nur mit einem Bolometer oder auf thermoelektrischem Wege möglich, indem das auf die berußten Elektroden auffallende Licht in Wärme umgesetzt und der dadurch erzeugte Thermostrom galvanometrisch gemessen wird.

Damit ist der Weg gezeichnet, der zum Ziele führen kann; erreicht ist dieses allerdings noch nicht. Was bisher mit dieser Methode gefunden wurde, beschränkt sich auf die Tatsache, daß rotes Licht von 620 $\mu\mu$ Wellenlänge bis Ultrarot (dieses selbst war ausgeschlossen) auf grüne Pflanzen (Helodea)

Digitized by Google

etwa dieselbe assimilatorische Wirkung ausübt wie blaues Licht (von $\lambda = 524\ \mu\mu$ abwärts bis ultraviolett exklusive) von gleicher Intensität. Grün ($\lambda = 512$ bis $524\ \mu\mu$) dagegen wirkt auch in höherer Stärke viel schwächer (Kniep und Minder 1909). Das leuchtet ein, wenn wir bedenken, daß gerade dieser Spektralbezirk vom Chlorophyll fast völlig durchgelassen wird (siehe die Absorptionsspektren, Fig. 8 und 9). Das Ergebnis spricht zugunsten der Annahme, daß zwischen Absorption und Assimilation ein gewisser Parallelismus besteht.

Indem wir uns dieser Frage jetzt im Zusammenhang und namentlich vom ökologischen Gesichtspunkt aus zuwenden, müssen wir zunächst auf Engelmanns Untersuchungen zurückgreifen. Die frappante Uebereinstimmung zwischen Absorptions- und Assimilationskurve bei grünen und namentlich bei braunen und roten Algen gibt gewiß zu denken. Sie legte Engelmann die Frage nahe, ob unter den Lebensbedingungen, an welche die Algen in der Natur gebunden sind, die Verschiebungen der Absorptions- und Assimilationsmaxima im Spektrum für sie von Bedeutung sein können. Seit langer Zeit ist nun bekannt, daß die Rotalgen im Meere im allgemeinen in größere Tiefen vordringen, während die Grünalgen größtenteils Oberflächenformen sind. Auf der anderen Seite wissen wir, daß es gerade die roten Strahlen sind, welche vom Wasser am stärksten absorbiert und deshalb schon in ziemlich geringen Tiefen ausgelöscht werden. Grüne, blaue und violette Strahlen dringen in viel größere Tiefen vor, und was erscheint daher plausibler als die Annahme, daß die Verschiebung des Absorptionsmaximums nach dem kurzwelligen Teil und die Komplementärfärbung zu dem Licht, von dem sie getroffen werden, als eine Anpassung der Rotalgen an ihre Umgebung zu denken ist? Sie sind zweifellos in tieferen Wasserschichten im Konkurrenzkampf weit günstiger gestellt als die Grünalgen, denn diese lassen ja gerade das grüne Licht durch, das dort relativ stark ist, und ihre Fähigkeit, Rot zu absorbieren, nützt ihnen in den rotdunklen Regionen natürlich nichts. Die Braunalgen nehmen eine Mittelstellung ein; bei ihnen ist die Rotabsorption noch sehr stark, das Absorptionsmaximum aber ebenfalls nach dem kürzerwelligen Teil verschoben. Daher sehen wir sie gleichfalls in größere Tiefen vordringen als die grünen, ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich jedoch, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht so weit hinab als das der Florideen. Daß letztere auch im Oberflächengebiet vorkommen, kann nicht als Gegengrund gegen die Engelmannsche Deutung angesehen werden, denn hier sind ja die Strahlen, die die assimilatorische Energie liefern, ebenfalls vorhanden. Uebrigens wurde schon oben darauf hingewiesen, daß verschiedene Rhodophyceen in der Tiefe eine dunkelrote, an der Oberfläche dagegen eine mehr grünliche Färbung annehmen.

Da die Bakterienmethode, so hervorragend geeignet sie für viele Zwecke ist, bei quantitativen Untersuchungen doch mit einigen Unsicherheiten behaftet ist, so wird es eine Aufgabe der Zukunft bleiben, die Angaben Engelmanns mit einer rein objektiven Methode nachzuprüfen. Einer eingehenden experimentellen Behandlung bedarf auch noch die Frage, ob vielleicht die Algen, die bei sehr schwachem Licht gedeihen, dieses zu einem höheren Prozentsatz auszunutzen imstande sind als die grünen Landpflanzen, bei denen ja der Ausnutzungsfaktor, wie wir sahen, einen sehr geringen Wert hat.

Die bisher betrachteten Anpassungserscheinungen lassen aber eine Frage noch unaufgeklärt, die die weitaus größte Mehrzahl der Pflanzen betrifft, nämlich die: welche Bedeutung hat die grüne Färbung des Laubes? In der freien Natur stehen den Pflanzen doch alle Farben des Spektrums zur Verfügung, wäre es deshalb nicht zweckmäßiger, sie wären auch mit der Fähigkeit begabt, sie alle auszunutzen? Sollten wir daher nicht schwarze Blätter an Stelle der grünen erwarten? Stahl (1906, 1909) hat diese Frage gestellt und die biologische Deutung der Grünfärbung gegeben. Wir werden die Sachlage vielleicht am besten verstehen, wenn wir uns einmal vorstellen, die Blätter wären tatsächlich schwarz und absorbierten alle Spektralgebiete gleichmäßig. Was würde dann geschehen, wenn sie dem direkten Licht der Mittagssonne exponiert würden? Wir brauchen nur zu bedenken, daß das ultrarote Licht, welches vom Chlorophyll durchgelassen wird, etwa 80% der gesamten strahlenden Energie des Sonnenlichts ausmacht, um einzusehen, daß die Temperatur der Blätter infolge der starken Strahlenabsorption so hoch steigen würde, daß die Plasmatätigkeit im höchsten Maße gefährdet und die Versengungsgefahr nahe gerückt wäre. Man versteht also ohne weiteres, daß im Ultrarot die Absorption des Chlorophylls auf ein Minimum sinkt. Damit ist aber noch nicht erklärt, weshalb sie im Rot und Blau so stark, im Grün dagegen äußerst gering ist. Das hängt nach Stahl mit der wechselnden Zusammensetzung des Himmelslichts zu verschiedenen Tageszeiten und mit dem Unterschied zwischen direkter Sonnenbestrahlung und zerstreutem Licht zusammen.

Durch die Atmosphäre erfährt das Sonnenlicht in zweifacher Weise eine Veränderung. Beim Durchgang durch dieses trübe Medium werden namentlich die kurzwelligen

Digitized by Google

Strahlen geschwächt und das Energiemaximum wird sich umsomehr nach dem Rot verschieben, je dicker die Atmosphärenschicht ist, die passiert werden muß; daher erscheint morgens und abends die Sonne rot. Außerdem tritt aber eine Zerstreuung (diffuse Reflexion) ein, die die Atmosphäre zu einer selbstleuchtenden Hülle macht. In diesem zerstreuten Licht wiegen die blauen und violetten Strahlen gegenüber den roten vor. Das von den Pflanzen durchgelassene grüne Licht tritt in beiden Fällen zurück. An das durch die Atmosphäre geschwächte Licht ist nun die Pflanze angepaßt. Vermöge ihrer Fähigkeit selektiver Absorption nutzt sie einmal die dominierenden roten Strahlen aus, andererseits macht sie sich die im zerstreuten blauen Himmelslicht vorwiegenden kurzwelligen Strahlen dienstbar. Daß das Grün die Blätter ungenutzt passiert, ist auch deshalb von Bedeutung, weil im ungeschwächten direkten Lichte der Sonne gerade da das Energiemaximum liegt und daher die Pflanze bei hohem Sonnenstande in den Mittagsstunden geschädigt werden könnte, wenn sie es absorbieren würde.

Wir verstehen also die Grünfärbung des Laubes als einen Kompromiß, der bei Vermeidung der Schädigung durch zu starke Bestrahlung der Pflanze eine ausgiebige Ausnutzung des Lichts zur Assimilationstätigkeit ermöglicht.

Stahl war der Meinung, daß der gelbe, hauptsächlich aus Karotin bestehende Anteil des Rohchlorophylls, dem Hansen (1888) allein die Absorptionsbänder im Blau-Violett zuschrieb, für die zweite Erhebung der Assimilationskurve im Blau verantwortlich zu machen sei. Kohl hat die Anschauung zu stützen gesucht, daß tatsächlich dem Karotin assimilatorische Funktion zukomme, doch ist ein einwandfreier Beweis dafür nicht geliefert worden. Nach unseren heutigen Kenntnissen ist aber diese Annahme für die Stahlsche Theorie gar nicht nötig. Denn wir wissen dank der exakten spektralanalytischen Untersuchungen Willstätters und seiner Schüler, daß das Chlorophyll selbst im Blau-Violett sehr starke Absorptionsbänder hat (vgl. Fig. 8 und 9).

8. Die Temperatur. Wie alle Lebensprozesse, so hängt natürlich auch die Größe der Assimilation von der Temperatur ab. Wir können uns hier kurz fassen, denn es wurden bei der Besprechung des Einflusses der Lichtintensität bereits die Gesichtspunkte hervorgehoben, die auch für die Beurteilung von Temperaturkurven Geltung haben und uns zugleich zeigen, daß ein Teil der älteren Untersuchungen kein durchgehends richtiges Bild von der Abhängigkeitsbeziehung Temperatur-Assimilation gibt. Die maßgebenden Untersuchungen, an die wir uns hier allein halten, rühren von Miß Matthaei (1904) her. Zunächst hat sich dabei, wie nach der Besprechung des Lichteinflusses (Abschnitt 7) nicht anders zu erwarten ist, wieder die hemmende Wirkung anderer Faktoren gezeigt, wenn diese nicht in genügender Intensität zur Verfügung stehen. Figur 10 S. 805 zeigt diesen Einfluß für das Licht. Die Lichtintensität 1 (Gasbrenner in 13 cm Entfernung von dem assimilierenden Blatt) gestattet im Höchstfalle eine Verarbeitung von 22 mg CO_2 pro 50 qcm Blattfläche (Kurve I), wie hoch auch die Temperatur innerhalb der zulässigen Grenzen gesteigert werden möge. Für die doppelte Intensität (Kurve II) beträgt dieser Wert 38 mg, für die vierfache etwa 61 mg. Auch bei letzterer würde gewiß der horizontale Verlauf besser zum Ausdruck kommen, wenn zwischen 11 und 25° Beobachtungen vorlägen.

Betrachten wir nunmehr die Dinge, wie sie sich unbeeinflußt durch Grenzfaktoren ergeben, für den Fall also, daß die Temperatur in allen Teilen der Kurve den maximalen Effekt ausüben kann, wobei sie immer selbst begrenzender Faktor ist. Die nach Matthaeis Messungen konstruierten Kurven (Fig. 11 S. 807) geben darüber Aufschluß. Wir betrachten zuerst die ausgezogene Linie I. Sie ist konstruiert aus Bestimmungen des CO_2-Verbrauchs, die $2\frac{1}{2}$ Stunden nach Einwirkung der jeweiligen Temperatur gemacht wurden, und zwar drücken sie die Größe der Assimilation während der letzten Stunde aus, also von $1\frac{1}{2}$ Stunden nach Beginn der Temperaturwirkung an gerechnet. Der Vergleich zwischen Assimilationswerten und Temperatur bis zur Höhe von etwa 20° ergibt, daß eine Steigerung von 10° die Assimilation gerade verdoppelt. Diese Beziehung ist deshalb von besonderem Interesse, weil, wie van t'Hoff gezeigt hat, die Reaktionsgeschwindigkeit sehr zahlreicher chemischer Prozesse sich genau so verhält. Verfolgen wir unsere Kurve nun weiter, so ergeben sich allerdings Abweichungen von dieser Regel, die um so größer sind, je höhere Temperaturwerte wir erreichen. Der Abfall von 37° ab steht damit scheinbar in völligem Widerspruch. Blackman (1905) hat jedoch mit Recht hervorgehoben, daß die Regel trotzdem zu Recht bestehen könnte. Wir müssen uns nur vergegenwärtigen, daß die Kurve nicht der primäre Ausdruck der Assimilationsgröße ist; sie ist ja, wie bemerkt, aus Beobachtungen konstruiert, die erst einige Zeit nach Einwirkung der Temperatur gewonnen wurden, und da beeinflußt, wie wir bereits wissen, der Zeitfaktor die Kurve nicht unwesentlich. Die große Bedeutung des Zeitfaktors lassen die gestrichelten Linien erkennen. Kurve IV bezeichnet die assimilatorische Leistung, nach-

Digitized by Google

dem die jeweilige Temperatur bereits 4½ bis 5½ Stunden auf das Blatt eingewirkt hat. Wir sehen hier bereits einen sehr starken Abfall bei Temperaturen zwischen 30 und 40°, der Höhepunkt der Kurve (das „Optimum“) ist von 37° (Kurve I bis III) bis nach 31° gerückt. Erst unterhalb 25° ist der Zeitfaktor ohne Einfluß, d. h. bei niederen Temperaturen erhält man konstante Assimilationswerte, gleichgültig, ob man sogleich bei Beginn des Versuchs oder erst nach einiger Zeit den CO_2-Verbrauch mißt. Ganz uneingeschränkt gilt das, soweit sich ersehen läßt (speziell hierauf gerichtete, exakte Versuche liegen nicht vor), zwar auch nicht, denn je länger ein Blatt assimiliert, um so mehr häufen sich die Assimilate an; sie drücken schließlich die Assimilation herab und damit wäre in den inneren Bedingungen der Pflanze ein Hemmschuh geschaffen. Doch wollen wir jetzt hiervon absehen. Jedenfalls bleiben die Werte für längere Zeit konstant und der Verlauf nach der van t'Hoffschen Regel wird nicht gestört. Anders oberhalb 25°. Hier ist die primäre Kurve direkt noch nicht festgestellt worden (was auch mit anderen Methoden als der von Matthaei angewandten gasanalytischen nicht leicht sein dürfte). Daher ist der Verlauf der ausgezogenen Linie oberhalb 25° schon durch den Zeitfaktor modifiziert, es sind schon sekundäre Vorgänge eingeleitet, die dem Ansteigen der Assimilation entgegenarbeiten, dieses zuerst verlangsamen und schließlich soweit die Oberhand gewinnen, daß sie die Senkung der Assimilationskurve hervorrufen. Obwohl ihre Wirkung erst bei ziemlich hoher Temperatur beginnt, steigt sie doch mit der Temperatur sehr schnell an. Ueber die Natur dieser sekundären Kräfte wissen wir nichts. Trotzdem sind sie für uns sehr wichtig, denn die Art und Weise, wie sie die primäre Assimilationskurve modifizieren, gibt uns einen Anhaltspunkt, diese zu rekonstruieren. Blackman hat das durchgeführt, indem er die sekundären Abfallkurven (CDEFG, Fig. 13) nach rückwärts verlängerte. Wenn diese dann die nach van t'Hoffs Regel konstruierte Fortsetzung der primären Kurve über 25° hinaus so schneiden, daß durch die Schnittpunkte pro 10° Temperaturdifferenz eine Verdoppelung der Assimilationsgröße angezeigt wird, dann dürfen wir mit Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die van t'Hoffsche Regel zu Recht besteht und die Kurve tatsächlich der primäre Ausdruck der Assimilationsgröße ist. Das trifft in der Tat ungefähr zu.

Im einzelnen wird es natürlich von den individuellen und spezifischen Verschiedenheiten abhängen, wie groß die den verschiede-

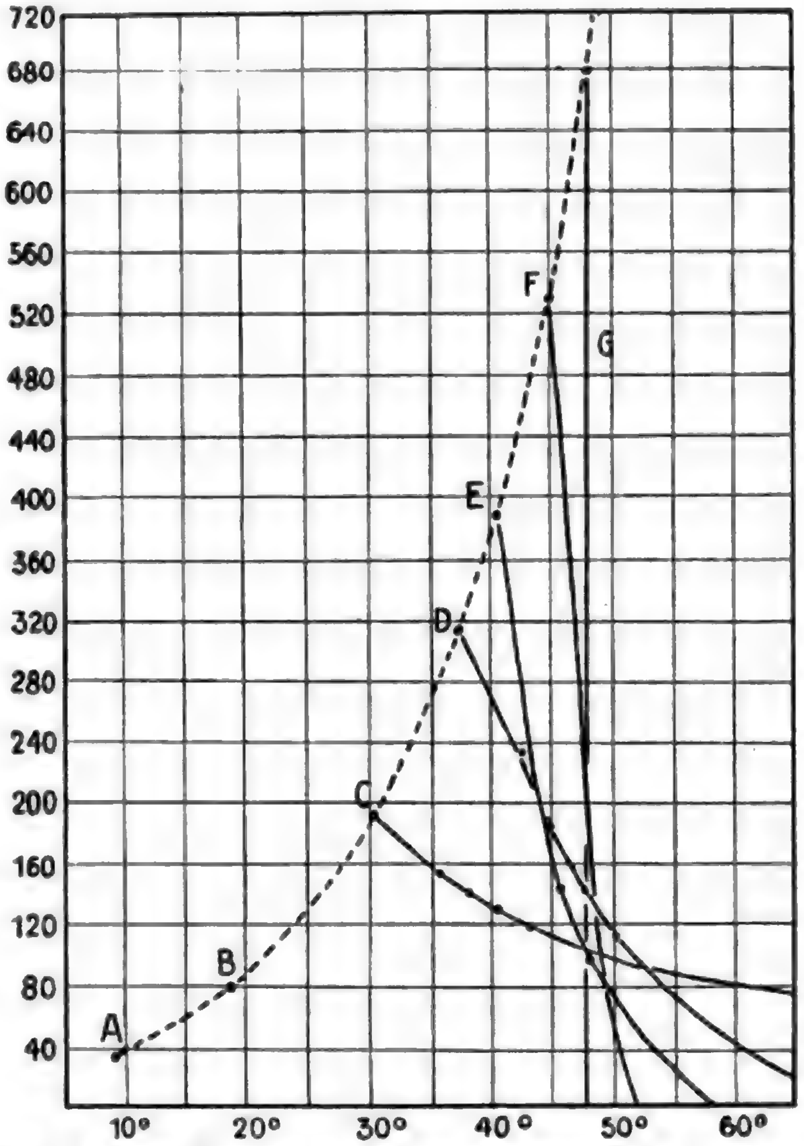


Fig. 13. Nach Blackman. Auf der Abszisse sind die Temperaturen, auf der Ordinate die Assimilationsgrößen (in mg zersetzter CO_2 pro 50 qcm Blattfläche) aufgetragen. Die gestrichelte Linie ist die primäre (theoretische) Assimilationskurve. Die ausgezogenen Linien drücken die Wirkung des Zeitfaktors für die den Punkten C, D, E, F, G entsprechenden Temperaturen aus. In diesem Fall bezieht sich die Teilung der Abszisse nicht auf Temperatur-, sondern auf Zeitintervalle, und zwar die Entfernung je zweier Linien (5°) 2 Stunden. Die durch Punkte markierten Beobachtungen liegen somit immer 1 Stunde auseinander.

Digitized by Google

nen Temperaturen entsprechenden absoluten Assimilationswerte sind. Dafür bestimmend ist die Temperatur, bei der die Assimilation beginnt. Sie dürfte bei den meisten winterharten Phanerogamen nicht sehr weit vom Nullpunkt entfernt liegen. Matthaei fand bei Prunus Laurocerasus den Anfang der Assimilation bei -6^0. Für Flechten gibt Jumelle Werte an, die viel tiefer, bei -30 bis -40^0 liegen. Ein längerer Aufenthalt höherer Pflanzen in Temperaturen um 0^0 (Ewart 1896) schädigt jedoch vorübergehend die Chloroplasten, so daß die Assimilation nach Zurückversetzen in günstigere Bedingungen erst nach einiger Zeit wieder beginnt.

9. **Einfluß anderer Bedingungen.** Es ist schon lange bekannt, daß die grünen Pflanzen ohne Sauerstoff nicht leben können. Die verschiedensten Funktionen werden im O-freien Raume gehemmt, in erster Linie natürlich die Atmung, die direkt vom Sauerstoff abhängt. Auch die assimilatorische Tätigkeit leidet bei längerem Sauerstoffentzug. Kurze Sauerstoffentziehung hindert jedoch den Beginn der CO_2-Zerlegung keineswegs. Wir können das ja direkt mit der Bakterienmethode beobachten. Wenn die Bakterien um eine Alge im Dunkeln zur Ruhe gekommen sind, also allen Sauerstoff verbraucht haben, so beginnen sie bei Beleuchtung sofort wieder sich zu bewegen (vgl. Abschnitt 2). Dasselbe läßt sich natürlich mit Beijerinks Indigomethode und mit verschiedenen anderen zeigen.

Gifte wie Anästhetika, wozu auch die Kohlensäure in höherer Konzentration gehört (siehe Abschnitt 4), Antipyrin, Säuren, Alkalien usw. setzen die Photosynthese herab. Wenn die Stoffe eine gewisse Zeit lang einwirken, so können sie die Chlorophyllkörper derartig inaktivieren, daß auch bei Wiederherstellung günstigster Bedingungen zunächst keine Assimilation stattfindet. Erst nach längerer Zeit kehrt die normale Befähigung zurück (Ewart 1896). Es ist verschiedentlich angegeben worden, daß der Einfluß von Giften auf die Assimilation auch insofern mit anderen Giftwirkungen übereinstimmt, als geringe Dosen einen beschleunigenden Effekt haben. Treboux (1903) gibt das für verdünnte Säuren, Kegel (1905) für Chloroform und Aether an. Letztere Angabe ist neuerdings von Miß Irving (1911) bestritten worden, die fand, daß schon 0,02 ccm Chloroformdampf pro Liter Luft die Assimilationstätigkeit von Kirschlorbeerblättern gänzlich aufhebt. Die Pflanzen zeigen unter diesen Bedingungen die der normalen Atmung entsprechende Kohlensäureproduktion. Möglicherweise beruht die Differenz allein auf der Verwendung verschieden starker Lichtquellen.

Daß die Erfüllung bestimmter innerer Bedingungen sehr wesentlich für die Assimilationstätigkeit ist, wurde schon öfter hervorgehoben. Wir denken dabei z. B. an den hemmenden Einfluß, den die Anhäufung der Assimilate ausübt. Auch der Turgor der Zellen kommt sehr in Frage, denn die volle photosynthetische Leistung wird nur bei genügender Wasserversorgung erreicht. Das schließt nicht aus, daß die Pflanzen bei Plasmolyse noch in beschränktem Umfange assimilieren können.

10. **Historisches.** Die Geschichte der Assimilationsforschung ist mit der der gesamten Pflanzenphysiologie aufs engste verknüpft. Hängen doch von der Aufklärung dieses grundlegenden Prozesses in letzter Linie alle Fortschritte auf stoffwechselphysiologischem Gebiet zusammen. Die Erkenntnis, daß die grünen Pflanzen imstande sind, die Kohlensäure der Luft zu verarbeiten und Sauerstoff zu produzieren, knüpft sich vor allem an vier Namen: Priestley, Jngenhousz, Senebier und Saussure. Priestley fand, daß die Pflanzen Luft, welche die Verbrennung nicht mehr unterhalten kann, dazu wieder befähigen können (1771). Die Entdeckung, daß hierzu das Licht erforderlich ist, und daß nur grüne Pflanzenteile, dagegen nicht Wurzeln oder Blüten diese „Verbesserung" der Luft herbeiführen, gebührt Jngenhousz (1779). Senebier (1800), der sich bereits von der alten Phlogistonlehre emanzipiert hatte und schon ganz auf dem Boden der von Lavoisier begründeten modernen Chemie stand, lehrte in einer größeren Reihe von Versuchen die Quelle kennen, aus der die Pflanze den Sauerstoff schöpft, indem er zeigte, daß die Ausscheidung von Sauerstoff nur in Gegenwart von Kohlensäure stattfindet, die dabei aus der Luft verschwindet. Die eigentliche Grundlage aller neueren Untersuchungen auf dem Gebiete der Assimilationsphysiologie bilden aber erst die sehr exakten Arbeiten Th. de Saussures (1804). Wir haben bereits gesehen, daß Saussures Verdienst der Nachweis ist, daß die Pflanze bei der Photosynthese ihr Trockengewicht stärker vermehrt als dem aufgenommenen Kohlenstoff entspricht. Er erkannte, daß der Kohlenstoff mit Wasser in Bindung tritt und zum Aufbau der Pflanzensubstanz verwendet wird. Von ihm rühren auch die ersten Bestimmungen des assimilatorischen Koeffizienten her, ferner zeigte er, daß die Pflanzen im kohlensäurefreien Raum bei Beleuchtung eine Gewichtsabnahme ebenso wie im Dunkeln erleiden. Und schließlich, um eines seiner größten Verdienste zu erwähnen: er hielt bereits die Prozesse Assimilation und Atmung auseinander.

War mit all diesen Versuchen eigentlich

by Google

schon der Beweis geliefert, daß die Kohlensäure der Luft es ist, welche verarbeitet wird, so bedurfte es doch noch geraumer Zeit, bis diese Anschauung Gemeingut der Wissenschaft wurde. Die Humustheorie, nach der der Boden die Kohlensäure liefert, gelangte zu vielseitiger Anerkennung. Erst durch Liebig ist diese Theorie endgültig gestürzt und damit ebene Bahn geschaffen worden für die weitere Arbeit. Sie wurde mit besonderem Erfolge von Boussingault aufgenommen, dessen grundlegendes Werk „Agronomie" (6 Bände 1860ff.) unsere Kenntnisse nach den verschiedensten Richtungen gefördert hat.

Vergessen düfen wir hier schließlich nicht die großen Fortschritte, die die Physiologie den Forschungen von Sachs verdankt. Auf Hugo von Mohls Untersuchungen (1845) gestützt, wies er nach (1862), daß in den Chlorophyllkörpern, den Werkstätten der Photosynthese, als erstes sichtbares Assimilationsprodukt die Stärke auftritt. Die von Sachs geschaffenen Methoden des Stärkenachweises und zur Bestimmung der Assimilationsgröße und die zahlreichen experimentellen Arbeiten über den Chemismus der Photosynthese und deren Abhängigkeit von äußeren und inneren Bedingungen, die sich daran anschlossen, haben wir in früheren Kapiteln im Umriß kennen gelernt, so daß wir hier auf eine historische Schilderung der neuesten Entwickelung verzichten können.

Literatur. *1. Handbücher:* **Czapek**, *Biochemie der Pflanzen. I. 1904.* — **Euler**, *Pflanzenchemie. I bis III. 1908 und 1909.* — **Jost**, *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. 1908.* — **Nathansohn**, *Der Stoffwechsel der Pflanzen. 1910.* — **Palladin**, *Pflanzenphysiologie. Deutsche Ausgabe 1912.* — **Pfeffer**, *Pflanzenphysiologie. I. 2. Aufl. 1897.* — **Sachs**, *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. 1887.*

2. Sammelreferate: **Kohl**, *Kohlensäure-Assimilation und Chlorophyllfunktion. Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch. Bd. 24. 1906.* — **Czapek**, *Die Ernährungsphysiologie der Pflanzen seit 1896. Progressus rei botanicae I. 1907.* — **Derselbe**, *Neuere Literatur üb. d. Chlorophyll. Ztschr. f. Bot. 3. 1911.* — **Kimpflin**, *Essai sur l'assimilation photochlorophyllienne du carbone. Lyon 1908.* — **O. Richter**, *Die Ernährung der Algen. 1911.* — **M. Tswett**, *L'état actuel de nos connaissances sur la Chimie de la Chlorpylle. Rev. gén. des sciences. Paris 1912.* — **Willstätter**, *Ueber Chlorophyllchemie im Biochem. Handlexikon. 1911.*

3. Abhandlungen. Hier ist nur die neueste Literatur zitiert; in bezug auf die übrige muß auf die oben genannten Handbücher und Referate verwiesen werden. Ueber die Methodik (Abschnitt 2) finden sich die eingehendsten Angaben in Czapeks Biochemie. — **Blackman and Smith**, *New Method for Estimating the Gaseous Exchanges of Submerged Plants Proc. Roy. Soc. B 83. 1911.* — **Dieselben**, *On Assim. of Submerged Water-Plants etc. Ebenda.* — **Bokorny**, *Weitere Mitteilungen über die CO_2-Assimilation und Ernährung der Pflanzen mit Formaldyhyd Pflüg. Arch. Bd. 128. 1909.* — **Curtius und Franzen**, *Ueber das Vorkommen von Formaldehydin d. Pflanzen. Sitzgsber. d. Heidelb. Akademie Abt. A, 1912.* — **Fox**, *On the Coefficients of Absorption of the atmospheric Gases in water II. Conseil permanent pur l'exploration de la mer. Publ. de circonstance. 44. 1909.* — **Gentil**, *Beitr. z. Nachw. d. Formaldehyds in Pflanzen. Bull. des Chim. de Sucr. et Dist. 27. 1909 und 1910.* — **Grafe**, *Die biochem. Seite der Kohlensäureassimilation. Biochem. Zeitschr. 32. 1911 (dort weitere Literatur).* — **Hausmann**, *Ueber optische Sensibilisatoren. Fortschr. d. Naturwissenschaften, 6. 1912.* — **Irving**, *The Effect of Chloroform upon Respiration and Assimilation Annals of Botany 25. 1911.* — **Kniep und Minder**, *Ueb. d. Einfl. verschiedenfarbigen Lichts auf die Kohlensäureassimilation. Zeitschr. f. Bot. 1. 1909.* — **Kolkwitz**, *Beitr. z. Biologie d. Florideen. Wiss. Meeresunters. N. F. IV. Abt. Helgoland 1900.* **Kylin**, *Ueb. d. Inhaltskörper d. Fukoideen. Arkiv för Botanik 11. 1912.* — **Liro**, *Ueb. d. photochemische Chlorophyllbildung. Annales Acad. Fennicae. Ser. A. Tom 1. 1908.* — **W. Löb**, *Zur Kenntn. d. Assimilation d. Kohlensäure. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 37. 1904.* — **Lubimenko**, *La Concentration du Pigment vert et l'Assimilation chlorophyllienne. Rev. gén. de Bot. 20. 1909.* — **Derselbe**, *Production de la Substance sèche et de la chlorophylle chez les végétaux aux différentes intensités lumineuses. Ann. sc. nat. Bot. Sér. 7. Vol. 9. 1909.* — **Meyer und Deleano**, *Die period. Tag- und Nachtschwankungen der Atmungsgröße usw. Ztschr. f. Bot. 3. 1911.* — **Nadson**, *Ueber den Einfluß der Lichtstärke auf die Färbung der Algen. Bull. du jard. bot. St. Petersbourg. 8. 1908.* — **Renner**, *Beitr. zur Physik d. Transpiration. Flora 100. 1910.* — **Schorler**, *Beitr. z. Lebensgesch. von Mallomonasarten und zur komplementären Anpassung. Arch. f. Hydrobiol. 3. 1907.* — **Senn**, *Gestalts- und Lageveränderung der Pflanzenchromatophoren. 1908.* — **Stahl**, *Zur Biologie d. Chlorophylls. 1909.* — **Stoklasa und Zdobnický**, *Photochem. Synthese d. Kohlehydr. aus CO_2 u. Wasserst. in Anwesenh. v. KOH, in Abwesenh. v. Chlorophyll. Sitzgsber. d. Wien. Ak. Math.-naturw. Kl. 119. Abt. IIb. 1910.* — **Thoday**, *Critical Examination of Sachs' Method for using Increase of Dry Weight as a Measure of Carbon Dioxyde Assimilation in Leaves. Proc. Roy. Soc. B. 82. 1910.* — **Derselbe**, *Some Experiments on Assimilation in the Open Air. Ebenda.* — **Wiesner**, *Der Lichtgenuß der Pflanzen. 1907.* — **Willstätter**, *Unters. üb. d. Chlorophyll. Liebigs Annalen d. Chemie. Bd. 350ff. 1906ff.*

H. Kniep.

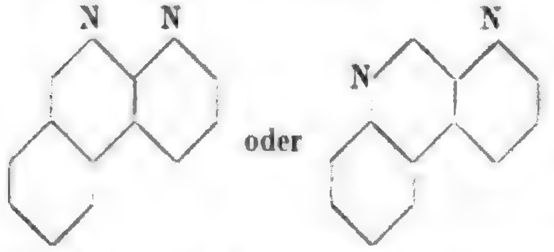
Digitized by Google

Phototropie.

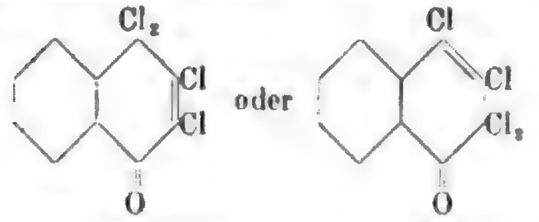
1. Begriff der Phototropie. 2. Phototrope Stoffe. 3. Theorien der Phototropieerscheinung. 4. Abhängigkeit der Phototropie von der Wellenlänge des Lichtes. 5. Einfluß der Temperatur auf die Phototropieerscheinungen. 6. Abhängigkeit der Erregung eines phototropen Stoffes von der ihn umhüllenden Gasschicht. 7. Zur Energetik der Phototropieerscheinungen.

1. Begriff der Phototropie. Einige chemische Verbindungen erfahren unter der Wirkung von Lichtstrahlen eine durch Farbvertiefung gekennzeichnete Zustandsänderung, die nach Absperrung des Lichtes allmählich wieder rückgängig wird. Man bezeichnet solche „umkehrbaren Photoreaktionen" mit dem Namen „Phototropie", oder auch „Chemische Phototropie"[1]).

2. Phototrope Stoffe finden sich in verschiedenen Klassen organischer Verbindungen. Die zuerst entdeckten sind das gelbe, im Lichte grün werdende Hydrochlorid des Chinochinolins (Marckwald).



und das farblose, im Lichte violett werdende Tetrachlorketonaphtalin



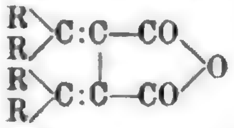
Ferner gehören hierher eine große Zahl von Hydrazonen aromatischer Aldehyde Ar·CH:N·NH·Ar', in denen sowohl das Ar des Aldehydrestes als auch das Ar' des Hydrazinrestes verschiedene aromatische Radikale sein können (Biltz, Stobbe, Padoa und deren Schüler). Diese farblosen oder schwach gelben Substanzen werden im Lichte rosa, orangerot, purpurn bis rotbraun mit allen dazwischen liegenden Farbnuancen. Ganz ähnlich verhalten sich einige Bis-Hydrazone oder Osazone der Benzilreihe.

Ar·C:N·NH·Ar'
Ar·C:N·NH·Ar'

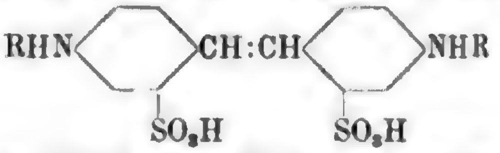
und einige vereinzelte Hydrazone zyklischer Ketone und Ketonsäureester.

Den Hydrazonen schließen sich an die ihnen strukturell nahestehenden Schiffschen Basen, Arylidenamine, z. B Salicyliden-β-naphtylamin $HO \cdot C_6H_4 \cdot CH:N \cdot C_{10}H_7$ (Senier und Shepheard)

Eine große Zahl phototroper Stoffe finden sich unter den Fulgiden, insbesondere unter den Diaryl- und Triarylfulgiden, bei denen also 2 oder 3 Radikale R der Formel



durch Aryle substituiert sind. Die zitronengelben bis orangen Diarylfulgide werden im Lichte hellbraun, die orangeroten bis dunkelroten Triarylfulgide braun bis schwarzbraun (Stobbe). Ebenfalls phototrop sind einige Stilbenderivate, die p, p'-Diacetyldiamino- und die p, p'-Diformyldiaminostilben-o, o'-Disulfonsäure und ihre Salze



(R = CH_3CO- oder CHO). Diese weißen bis hellgelben Verbindungen werden im Lichte rosa bis purpurn (Mallison).

Schließlich sei noch erwähnt das gelbe, im Licht rot werdende Dinitroaethankalium $CH_3.C{<}^{N.O.OK}_{NO_2}$, die einzige, bisher bekannte rein aliphatische, phototrope Substanz.

3. Theorien der Phototropieerscheinungen. Werden gutausgebildete Kristalle eines phototropen Stoffes (Fulgide, Naphtylhydrazone) belichtet, so erfährt ihre Oberfläche außer der Farbvertiefung keinerlei Veränderung; das Achsenverhältnis der Kristalle bleibt dasselbe, nur die Intensität der pleochroitischen Merkmale hat sich verstärkt. Flüssige Lösungen phototroper Stoffe zeigen keine umkehrbaren Lichtreaktionen, wohl aber wieder Kristalle, die unter ihren gesättigten Lösungen belichtet werden. Hieraus folgt, daß die Phototropieerscheinungen an den festen Zustand gebunden sind.

Um nun diese Vorgänge zu deuten, hat Stobbe in Anlehnung an eine Theorie der Phosphoreszenzerscheinungen angenommen, daß jeder phototrope Stoff in zwei Formen existiert. Der eine, nur im Dunkeln beständige Stoff A verwandelt sich im Lichte in einen anderen Stoff B, der seinerseits in der Dunkelheit wieder in A übergeht

[1]) Der Ausdruck „Phototropie" ist auch in der Botanik gebräuchlich. Man bezeichnet damit Bewegungen, die von den Blättern einiger Pflanzen zur Einstellung in geeignete Beleuchtungsverhältnisse ausgeführt werden.

Digitized by Google

$$A \underset{\text{im Dunkeln}}{\overset{\text{im Lichte}}{\rightleftarrows}} B$$

Hiernach befinden sich die beiden Stoffe in einem Gleichgewichte, das zunächst von der Lichtstärke und, wie später gezeigt werden wird, auch von anderen Faktoren abhängig ist. Das System $A \rightleftarrows B$ ist um so reicher an B, je intensiver das Licht strahlt, um so reicher an A, je schwächer die Lichtquelle ist. Im Dunkelgleichgewicht wird praktisch nur A vorhanden sein. Die Reaktion $A \rightarrow B$ wird mit „Erregung“, die Gegenreaktion $B \rightarrow A$ mit „Aufhellung“ bezeichnet. Jeder erregte Kristall stellt hiernach eine feste Lösung von B in A vor.

Mit dieser Theorie stehen im Einklang die Beobachtungen Padoas, der feste Lösungen aus einem phototropen und einem isomorphen, nicht phototropen Stoffe, z. B. aus Benzaldehydphenylhydrazon $C_6H_5 \cdot CH:N \cdot NH \cdot C_6H_5$ (phototrop) und Benzalbenzylamin $C_6H_5 \cdot CH:N \cdot CH_2 \cdot C_6H_5$ (nicht phototrop untersucht. Padoa findet, daß die Phototropie des Hydrazons keine wesentliche Aenderung erfährt bei einem geringen Gehalte an Benzalbenzylamin, daß sie bei einem Gehalte bis zu 5% des letzteren geschwächt wird und daß sie bei einem größeren Gehalte an dem nicht phototropen Stoffe gänzlich ausbleibt. Ferner beobachtet er, daß das in fester Lösung erregte Hydrazon im Dunkeln schneller als das reine, nicht gelöste Hydrazon aufgehellt wird.

Das feste Lösungsmittel beeinträchtigt also die Erregung des phototropen Stoffes und befördert umgekehrt die Aufhellung eines erregten Stoffes. Eine feste Lösung steht in bezug auf ihre phototrope Reaktionsfähigkeit zwischen dem reinen phototropen Stoffe und dessen flüssiger Lösung.

Ebenso wie Padoa schließen sich auch Senier und Shepheard der Stobbeschen Deutung der Phototropieerscheinungen an.

Dieser chemischen Hypothese steht eine rein physikalische Interpretation Marckwalds gegenüber. Er hat beobachtet, daß ein erregter Kristall des Tetrachlorketonaphtalins in zwei Richtungen farblos und nur in der dritten rotviolett erscheint. Die Phototropie sei daher eng an die Kristallform und an den Pleochroismus geknüpft, eine Auffassung, die besonders dadurch gestützt wird, daß eine zweite anders kristallisierende, labile Modifikation des Tetrachlorketonaphtalins existiert, die nicht phototrop ist, sich aber leicht in die stabile phototrope Modifikation umlagert. Nach Marckwald regt das Licht in dem phototropen Kristall gewisse Schwingungen an, die nach einer Richtung hin nicht mehr allen Lichtstrahlen den Durchgang gestatten. Bei Abwesenheit von Licht erlahmen diese Schwingungen allmählich, so daß der Kristall schließlich wieder farblos erscheint.

4. Abhängigkeit der Phototropieerscheinungen von der Wellenlänge des Lichtes. Die phototrope Erregung eines Stoffes, d. h. die Verschiebung des Dunkelgleichgewichtes erfolgt nur in einem bestimmten Spektralbezirk, der „Erregungszone“ genannt wird. Die Erregung ist aber in diesem Bezirke nicht etwa gleichmäßig, sondern schwächt sich nach beiden Seiten allmählich ab. Das Feld A der beistehenden Figur ist beispielsweise die Erregungszone des für die Dunkelheit farbkonstanten orangeroten Triphenylfulgides (Form A). Je höher das Feld, desto größer die Erregung.

Ebenso wie die Erregung wird nun aber auch die Aufhellung des erregten Fulgides (Form B) durch ein bestimmtes Strahlengebiet besonders stark beeinflußt. Dieses Gebiet ist die „Aufhellungszone B“. Je tiefer das Feld, desto größer die Aufhellung. Aus der Figur ergibt sich, daß die Erregung des helleren A hervorgerufen wird durch die kurzwelligen, die Aufhellung des dunkleren B durch die langwelligen Strahlen, also durch diejenigen Strahlen, die einerseits von A, andererseits von B absorbiert werden. Hierdurch erfährt das Grotthussche Gesetz, nach dem jede Lichtwirkung mit einer Absorption des Lichtes verknüpft ist, eine weitere Bestätigung.

Kurzwelliges Licht leistet bei der Reaktion $A \rightarrow B$ eine Arbeit, die in B aufgespeichert bleibt, so lange das Licht strahlt (stationärer Zustand). Langwelliges Licht beschleunigt die an sich freiwillig verlaufende Gegenreaktion $B \rightarrow A$ und vernichtet daher die Lichtarbeit. Hieraus folgt, daß ein Lichtstrahl bestimmter mittlerer Wellenlänge existieren wird, in dem beide Reaktionen sich kompensieren und in dem keine Erregung stattfinden kann.

Beide Empfindlichkeitszonen grenzen aneinander. Ihre Lage wird abhängig sein von der Farbe des phototropen Stoffes. Je mehr langwelliges Licht der Stoff A absorbiert, desto mehr erstreckt sich die Erregungszone nach dem langwelligen Strahlengebiete; ein für die Dunkelheit farbloser Stoff (Form A) wird nur im Ultraviolett; ein für die Dunkelheit gelber im Blau + Violett + Ultraviolett, ein für die Dunkelheit roter im Grün

+ Blau + Violett + Ultraviolett erregt. Dagegen wird ein erregter, vorher farbloser Stoff (also seine farbige Form B) schon im Violett und Blau; ein erregter, vorher gelber Stoff erst im Grün + Blau; ein erregter vorher roter Stoff vornehmlich nur im Gelb und Rot aufgehellt werden. Die Aufhellungszonen verschiedener phototroper Stoffe rücken also um so weiter nach dem langwelligen Spektralbezirke vor, je mehr die Erregungszonen aus dem Ultraviolett in den Bereich der sichtbaren Strahlen hineinragen (Gesetz von der gegenseitigen Lage der Erregungs- und Aufhellungszonen).

Wenn es etwa gelänge, einen purpurnen oder roten Stoff zu finden, der phototrop und durch Strahlen mittlerer Wellenlänge erregbar wäre, so würde dessen B-Form durch ultrarote Strahlen aufgehellt werden müssen. Man würde dann die Rückverwandlung der B-Form eines solchen Stoffes als Diagnostikum für ultrarotes Licht benutzen können, gerade so, wie man umgekehrt die Erregung eines jeden weißen phototropen Stoffes, z. B. des Tetrachlorketonaphtalins, als Reagenz auf ultraviolettes Licht verwenden kann.

5. Einfluß der Temperatur auf die Phototropieerscheinungen. Die beiden entgegengesetzt verlaufenden Vorgänge „Erregung und Aufhellung" werden durch Temperatursteigerung in sehr verschiedener Weise beschleunigt. Die Reaktion A → B (als Lichtreaktion mit kleinem Temperaturkoeffizienten) in weit geringerem Maße als die Dunkelreaktion B → A. Hieraus folgt, daß mit steigender Temperatur die phototrope Erregbarkeit abnehmen muß und daß schließlich eine Temperatur existieren wird, bei der die Gegenreaktion die Lichtreaktion vollkommen überholt und bei der, selbst bei höchster Lichtintensität und günstigstem Wellenlängengebiet eine Erregung nicht mehr stattfinden kann. Diese Temperaturgrenze ist natürlich für die einzelnen Stoffe verschieden. So sind z. B. die Fulgide für das Strahlengebiet λ 490 bis 271 $\mu\mu$ bei + 125° selbst bei stärkster Lichtquelle nicht mehr erregbar, während die Hydrazone noch bei Temperaturen bis +150° relativ stark zu erregen sind.

Durch Temperaturerniedrigung werden beide Reaktionen verzögert, die Lichtreaktion weniger als die Dunkelreaktion. Die Folge davon ist, daß bei tiefen Temperaturen stets eine Erregung stattfinden muß, die allerdings meist wegen der sehr verlangsamten Reaktionsgeschwindigkeit länger auf sich warten lassen wird als bei höheren Temperaturen. Immerhin sind einige Fulgide und das Tetrachlorketonaphtalin schon nach 15 Minuten bei —165°, andere phototrope Stoffe bei der gleichen Temperatur in weit längerer Zeit zu erregen. Die Lichtintensitäten brauchen bei den tiefen Temperaturen nur gering zu sein, so daß in der Nähe des absoluten Nullpunktes eine unendlich kleine Lichtintensität erforderlich sein wird, um in absehbarer Zeit das Dunkelgleichgewicht nach B zu verschieben.

Daß bei den großen Temperaturintervallen von —165° bis +150° auch die veränderlichen Lichtabsorptionsverhältnisse der Versuchsobjekte eine Rolle spielen, ist vorauszusehen. Die Farbe eines Stoffes wird mit sinkender Temperatur heller; die Lichtabsorption verschiebt sich immer weiter nach dem Ultraviolett (Thermochrome Zustandsänderung). Infolge dessen werden für eine Erregung bei tiefen Temperaturen die kurzwelligen Strahlen mehr beteiligt sein als bei hohen Temperaturen (Abhängigkeit der Phototropie von der Thermochromie).

6. Abhängigkeit der Erregung eines phototropen Stoffes von der ihn umhüllenden Gasschicht. Außer von der Temperatur, Lichtintensität und Wellenlänge des Lichtes ist die Phototropie abhängig von der den phototropen Stoff umgebenden Gashülle. Die Fulgide, Hydrazone, Osazone und das Tetrachlorketonaphtalin sind, mit allerdings sehr großen Abstufungen, unter Wasserstoff und unter Kohlensäure stärker erregbar als unter Luft und unter Sauerstoff. Feuchtigkeit übt in der Regel einen hemmenden Einfluß aus.

Im Gegensatz dazu werden Stilbenderivate im Vakuum und unter Wasserstoff nicht, unter Kohlensäure wenig, unter Luft stark und unter Sauerstoff sehr kräftig erregt. Feuchtigkeit wirkt hier begünstigend.

Die phototropen Stoffe verschiedener Körperklassen zeigen hiernach große Unterschiede bezüglich der Stärke der phototropen Erregung. Man darf also die Entscheidung, ob ein Körper stark oder schwach phototrop ist, nur treffen unter Berücksichtigung der ihn umhüllenden Gasschicht.

7. Zur Energetik der Phototropieerscheinungen. Die bei der Erregung eines phototropen Stoffes

A + Licht → B

aufgenommene Energie bleibt so lange in B aufgespeichert, als das Licht leuchtet. Wird die Strahlungszufuhr abgeschnitten, so lagert sich das energiereichere B in das energieärmere A um. Hierbei muß also Energie in irgend einer Form x frei werden.

B → A + x

Nachzuweisen, ob dieses x, teilweise wenigstens als Luminiszenz auftritt, ist bisher nicht gelungen. Wohl aber ist bei der phototropen Erregung der p, p'-Diacetyl-

Digitized by Google

diamino-stilben-o, o'-Disulfonsäure und ihren Salzen konstatiert worden, daß der sie umhüllende Sauerstoff schon allein durch die sichtbaren Strahlen in Ozon verwandelt wird. Der Sauerstoff ist also bei der Lichtreaktion direkt oder indirekt beteiligt. Die Zustandsänderung des phototropen Stoffes löst eine andere chemische Reaktion aus unter Bedingungen (Ausschluß des ultravioletten Lichtes), unter denen sie bei Abwesenheit eines phototropen Stoffes nicht erfolgt. Denn Sauerstoff wird ja sonst nur durch die von ihm absorbierten kurzwelligen Strahlen (von ca. 220 $\mu\mu$ abwärts) ozonisiert. Ob der Sauerstoff bei der Lichtreaktion A → B zunächst von A absorbiert und dann bei der Gegenreaktion B → A in Form von Ozon eliminiert wird, oder ob die Zustandsänderung des phototropen Stoffes die Umwandlung von Sauerstoff in Ozon nur photokatalytisch beeinflußt, ist vorläufig unentschieden.

Literatur. ***Marckwald,*** *Zeitschr. f. physik. Chem.* **30**, *140 (1899).* — ***Biltz,*** *ebenda,* **30**, *527.* — ***Stobbe,*** *Liebigs Annalen der Chemie* **359**, *1 (1908).* — ***Senter und Shepheard,*** *Journal of the Chem. Soc.* **95**, *441 (1909).* — ***Padoa,*** *Atti della Reale Accademia dei Lincei [5]* **18** *und* **19** *(1909 und 1910), insbesondere* **18**, *II, 694.*

H. Stobbe.

Physik.

1. Umfang der Physik. 2. Wesen der Physik. 3. Charakter der Physik. 4. Methodik der Physik. 5. Aufgabe der Physik. 6. Gliederung der Physik.

1. Umfang der Physik. Die Physik hat im Laufe der Zeiten zwei verschiedene Definitionen, zu deutsch: Abgrenzungen erhalten: eine weitere, als Gesamtnaturwissenschaft, und eine engere, von der noch ausführlich zu reden sein wird. Dabei ist der geschichtliche Verlauf, den diese beide Definitionen genommen haben, außergewöhnlich merkwürdig und lehrreich. Im Altertume, als dessen Repräsentant hier noch mehr als sonst Aristoteles gelten darf, und im Anschlusse an seine Autorität noch beinahe zwei Jahrtausende hindurch, galt die Physik als die Naturwissenschaft im Gegensatze zu der sogenannten Geisteswissenschaft. Im Laufe der Aera, in der der noch heute nicht beendete Aufschwung der Naturwissenschaft einsetzte, wurde der Bereich mehr und mehr eingeengt, indem sich einzelne Naturwissenschaften von der Physik loslösten und selbständige Existenz in Anspruch nahmen: zuerst die Biologie, dann die Chemie, noch später Astronomie, Mineralogie und Geologie. Aber dieser Prozeß vollzog sich sehr langsam. Noch in dem kaum hundert Jahre alten bekannten Standardwerke: Gehlers physikalisches Wörterbuch, ist ungefähr die Hälfte des Umfangs astronomischen, chemischen, meteorologischen, kristallographischen und anderen Kapiteln gewidmet. Und noch im letztvergangenen Menschenalter haben sich Tochterwissenschaften gebildet: die Meteorologie, allgemeiner: Geophysik, am allgemeinsten: kosmische Physik; und die physikalische Chemie, die freilich neben dem Stammvater Physik noch die Chemie als Stammutter anerkennen muß. Darf man sich diese Loslösungen nicht nur gezwungen, sondern mit einer gewissen sympathischen Zustimmung gefallen lassen, so wird man als Physiker gegen andere Losreißungen protestieren müssen; so besonders gegen die namentlich in England geforderte und zum Teil bereits vollzogene Losreißung der Mechanik; sie würde den Organismus der Physik verstümmeln, und das, gleichviel ob man die Mechanik als Basis oder, durch die neueste Entwickelungsphase angeregt, als Spitze der Physik ansieht.

Was nun aber das Interessante an dieser historischen Entwickelung ist, das ist dies, daß seit nun schon längerer Zeit eine Gegenströmung einsetzt, die zur Folge hat, daß der Bereich der Physik sein durch die genannten Abtrennungen bewirktes Minimum wieder überwindet und nunmehr beginnt sich mit neuer Kraft auszudehnen. Freilich nicht in dem Sinne, daß das Geschehene wieder rückgängig gemacht würde; nein, in einem weit höheren Sinne. Die Physik beginnt nämlich — ebenso wie die Chemie — nach und nach alle Naturwissenschaften mit ihrem Wesen und Geiste zu durchdringen; diese Disziplinen können nicht umhin, allmählich und je nach ihrem Charakter in verschiedenem Tempo, physikalisch zu werden. Was das heißt: physikalisch werden, kann erst später endgültig gesagt werden; vorläufig muß es genügen zu betonen, daß die einzelnen Naturwissenschaften, indem sie physikalisch (und chemisch) werden, eigentlich erst den Charakter strenger Wissenschaft annehmen. Ja, auch die Chemie ihrerseits wird seit einigen Jahrzehnten immer physikalischer: ein Zweig von ihr, die physikalische Chemie, gravitiert schon jetzt weit stärker nach der physikalischen als nach der chemischen Seite; und auch die eigentliche Chemie wird aus Gründen, die noch hervortreten werden, nicht umhin können, sich mit den wesentlichen Zügen des physikalischen Systems zu durchdringen. So kann es leicht kommen, daß in einer, wenn auch wahrscheinlich noch fernen Zukunft die Physik wieder ihren einstigen Umfang, zugleich aber natürlich einen weit reicheren Inhalt und eine unvergleichlich größere Tiefe gewinnen wird wie in den alten Zeiten.

Digitized by Google

2. Wesen der Physik. Die Feststellung der physikalischen Durchdringung aller Naturwissenschaften leitet ganz von selbst zu der Frage hinüber, worin eigentlich diese Durchdringung besteht, was also das Wesen physikalischer Forschung sei. In den Büchern wird darüber meist eine sehr dürftige Auskunft erteilt, etwa dahin, daß die Physik die allgemeinen Naturerscheinungen behandelt, die speziellen aber den andern Disziplinen überläßt; oder einfach per exclusionem dahin, daß alles, was nicht chemisch, biologisch usw. ist, physikalisch sei; oder dahin, die Physik behandle die Erscheinungen an den Körpern, durch die sich diese selbst nicht ändern, also wieder negativ und zudem offensichtig falsch; oder, schon besser, die Physik wird als die Lehre von den Naturkräften bezeichnet; und neuerdings, aber anfangs nur schüchtern hervortretend: die Physik ist die Lehre von den Energien. Will man die Frage mit aller zulässigen Gründlichkeit behandeln, so muß man erkenntnistheoretisch vorgehen, was hier schon mit Rücksicht auf den zu Gebote stehenden Raum ausgeschlossen ist; es muß daher mit einer kurzen Skizze sein Bewenden haben.

Auf Grund unserer Empfindungen, Wahrnehmungen und Ueberlegungen schälen wir aus der Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen zwei Ideen heraus: die Idee des Stoffes und die Idee der Kraft. Durch die Beobachtung, daß gewisse Empfindungskomplexe dauerhaft sind, sich gar nicht oder doch nur langsam ändern, kommen wir zunächst zur Idee der Körper, der Gegenstände; und von diesen durch weitere Abstraktion zur Idee des Stoffes, der Materie, aus der jene Gegenstände, wie wir sagen, bestehen. In Wahrheit ist aber die Dauerhaftigkeit und Unveränderlichkeit der Stoffe sehr beschränkt, es finden fortwährend Umwandlungen statt, und diese sind das Thema der Chemie. Die andere Idee ist eigentlich viel unmittelbarer, sie schließt sich direkt an die Empfindungen an und drängt sich beinahe mit Gewalt auf. Es ist die Idee der Kraft, die wir z. B. als unsere Muskelkraft direkt empfinden, und die uns derart fasziniert, daß wir nun auch die Außenwelt mit solchen Kräften beleben und von Schwerkraft, elektrischer Kraft und vielen anderen Kräften sprechen, obwohl ihnen nicht unmittelbar eine spezifische Empfindung unsererseits entspricht. An diese Idee schloß sich die ältere Begriffsfassung der Physik an, man sagte: die Physik ist die Lehre von den Kräften in der Natur. Indessen hat doch der Begriff der Kraft eine Eigenschaft, die ihn für strengere Ansprüche ungeeignet erscheinen läßt, eine derartig grundlegende Rolle zu spielen: er ist seinem Wesen nach völlig abstrakt, die Kraft tritt nicht an sich in die Erscheinung, sondern nur durch ihre Wirkungen, und diese Wirkungen sind eben die physikalischen Erscheinungen. Daran wird auch nichts geändert durch die schöne Methode, die Kräfte anschaulich zu machen durch das Hilfsmittel der Kraftlinien und Niveauflächen (vgl. den Artikel „Potential"). Und dann: es ist irreführend zu sagen, die Physik sei die Lehre von den Kräften; denn das könnte zu dem Glauben führen, die Physik habe die Aufgabe, die Kräfte zu ermitteln, auf denen die Erscheinungen beruhen; während in Wahrheit diese Kräfte Erfindungen des forschenden Menschen sind, gemacht zu dem Zwecke, das uns innewohnende Kausalitätsbedürfnis wenigstens dem äußeren Anscheine nach zu befriedigen. Die wahre Aufgabe der Physik muß aber die sein, die Vorgänge abzuleiten aus den gegenwärtigen Zuständen (eventuell unter Hinzunahme der vorangegangenen), ohne Einführung eines hypothetischen Zwischengliedes. Es ist nur die Frage, ob es möglich ist, einen Zustand von Dingen, die so zahlreich, so zusammengesetzt sind und zu einander in so verwickelten Beziehungen stehen, wie wir das kennen, ob es möglich ist, einen solchen Zustand exakt und doch einfach genug zu definieren, um darauf weiter bauen zu können. Es müßte das geschehen durch eine einzige und mathematische Größe, die diesem Zustande eindeutig entspricht, sich mit ihm, und zwar in bestimmtem Sinne und nach bestimmten Gesetzen ändert, und die doch niemals ins Ungewisse zerfließt, sondern, bei genügend weiter und vollständiger Zusammenfassung der Erscheinungen, um die es sich handelt, sich als ebenso dauerhaft erweist wie der Stoff und damit als ebenso real. Diesen Begriff, diese Fundamentalidee hat man in der Energie gefunden, in dem Arbeitsinhalt der Systeme, in der Größe, die abnimmt, wenn Arbeit geleistet, die zunimmt, wenn Arbeit aufgenommen wird, und die, alle zusammenwirkenden Systeme berücksichtigt, das Prinzip der quantitativen Konstanz erfüllt. Man kann daher mit realerer Bedeutung, als sie irgendeinem der früheren Aussprüche zukommt, sagen: die Physik ist die Lehre von den Energien in der Natur, von ihrer qualitativen Umwandlung, unter Wahrung ihrer Quantität im ganzen. Gegen diese Definition der Physik können auch diejenigen nichts Erhebliches einwenden, die es ablehnen, als Energetiker im engeren Sinne zu gelten. Und nun verstehen wir auch, was es heißen soll, daß der Geist der Physik nach und nach alle übrigen Naturwissenschaften durchdringt: auch in diesen handelt es sich ja um energetische Vorgänge, und es erhebt sich die Aufgabe, festzustellen, inwieweit die chemische und die Lebens-

Digitized by Google

energie sich den allgemeinen physikalischen Gesetzen unterordnen, oder inwieweit es etwa erforderlich wird, über den Rahmen des bisher zugrunde Gelegten hinauszugehen.

3. Charakter der Physik. Was nun die Physik im engeren Sinne betrifft, so ist es natürlich am bequemsten per exclusionem zu verfahren und zu sagen: wir schließen alle Lebenserscheinungen, ferner alle Himmelserscheinungen, alle Erscheinungen im Erdinnern und an der Erdoberfläche, wir verschließen das und eventuell noch manches andere von der Betrachtung aus. Aber man wird doch nicht umhin können, die Formulierung etwas positiver zu gestalten. Da ist es nun sehr merkwürdig, daß noch niemals klipp und klar ausgesprochen worden ist, wodurch sich Physik und Chemie von allen anderen Naturwissenschaften unterscheiden. Die Astronomie behandelt die Erscheinungen am Himmel, die Meteorologie die in der Atmosphäre, die Geologie und die Geographie die in der oberflächlichen Erdschicht, die Biologie die Lebenserscheinungen auf der Erde. Wo spielen sich denn, so wird man fragen, die eigentlich physikalischen Vorgänge ab? Und darauf lautet die Antwort, anscheinend paradox und darum nicht minder richtig: die Physik im eigentlichen Sinne behandelt überhaupt keine Naturerscheinungen, sie beobachtet nicht, sie stellt Versuche an, sie stellt sich die Erscheinungen, die sie studiert, erst selbst her. In diesem Sinne ist eigentlich die Physik, ebenso wie die Chemie, eine technische Wissenschaft, technisch in der Methode, aber freilich eine Naturwissenschaft, was das Ziel angeht, das nicht der Praxis, sondern der reinen Erkenntnis gilt. Aber man muß sich über diesen Punkt klar werden, wenn man eine reinliche Scheidung durchführen will: der Blitz ist eine meteorologische, das Meerleuchten ist eine biologische Erscheinung, unbeschadet des Umstandes, daß sie beide auf physikalische Vorgänge zurückgeführt werden können; an sich physikalisch sind nur Erscheinungen, die der Physiker selbst herstellt. Man denke doch, um nur ein Beispiel, aber ein gewiß glänzendes, anzuführen, an die Röntgenstrahlen. Röntgenstrahlen sind doch keine Naturerscheinung, es hat doch bis auf Röntgen gar keine gegeben, sie sind erst erfunden worden, und zwar durch eine sehr lange und verwickelte Reihe künstlicher Prozesse; ob sich vielleicht nachträglich zeigt, daß es auch in der Natur Röntgenstrahlen gibt, ändert daran nicht das mindeste.

Und gerade aus dem hier besprochenen Punkte heraus erklärt sich der beispiellose Siegeszug der Physik, und darin liegt das Geheimnis ihres Erfolges. Denn Beobachtung ist die erste, Experiment ist die zweite und höhere Stufe. Und auch hier sehen wir, daß es die anderen Naturwissenschaften ihren exakten Schwestern allmählich nachtun, indem auch sie sich immer mehr auf das Experiment stellen, um einfache und grundlegende Wahrheiten zu finden. Natürlich muß man, je verwickelter die Verhältnisse sind, desto vorsichtiger sein in der Anstellung und namentlich in der Deutung der Versuche, ein Umstand, aus dem sich wohl die noch heute vielfach, z. B. in der Geologie, vorhandene Abneigung gegen die experimentelle und physikalische Methode erklärt.

Was nun den Gegensatz zwischen Physik und Chemie betrifft, so ist er durch den Gegensatz zwischen Energie und Materie festgelegt; zugleich aber ist damit klar, daß die beiden Forschungsgebiete durch keine Kluft getrennt, sondern durch eine Brücke verbunden sind. Denn es gibt keine Energie, die nicht in irgendeinem Sinne an Materie haftete, und keine Materie, die sich anders offenbarte als durch ihre Energie; jeder Vorgang in der Natur wie im Laboratorium muß daher physikalisch und chemisch zugleich sein, wenn auch oft nur das eine oder das andere in den Vordergrund tritt. Gerade in der neuesten Zeit ist diese Ueberbrückung stärker und stärker geworden, wie schon das eine Beispiel der Radioaktivität lehrt, an deren Aufbau sich Physiker und Chemiker mit gleichem Erfolge beteiligt haben. Freilich besteht ein Unterschied zugunsten der Physik insofern, als der Begriff der Materie und insbesondere der ihres quantitativen Maßes, der Masse, von geringerer Allgemeinheit ist als der der Energie und an den Grenzen überdies verschwimmt; es braucht in dieser Hinsicht nur erinnert zu werden, daß die Masse der Kathodenstrahl-Teilchen sich als eine, größtenteils oder völlig, nur scheinbare erwiesen hat; und daß der Aether, der doch als ein Stoff oder mindestens als eine „Substanz" eingeführt wurde, seine Bedeutung im Gesamtbilde der Naturwissenschaft schon jetzt fast ganz eingebüßt hat. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß einmal die Chemie, wenn auch nicht formal, so doch prinzipiell, völlig in der Physik aufgehen werde. Auch von den anderen Wissenschaften sind manche längst in das physikalische Fahrwasser eingelaufen, und es braucht hier nur auf zwei Beispiele hingewiesen zu werden: auf die Experimentalpsychologie, die diesem Sachverhalt auch äußerlich dadurch Rechnung getragen hat, daß sie sich als Psychophysik bezeichnet (vgl. die Artikel „Psychologie" und „Psychophysik"); und auf die Entwickelungsmechanik, allgemeiner gesagt: Entwickelungsphysik, die den schon während ihres verhältnismäßig kurzen Bestehens erfolgreichen Versuch gemacht hat, die Phänomene

Digitized by Google

der Organismen, insbesondere ihre Entstehung und Entwickelung, auf physikalische Energien zurückzuführen — ein Versuch, dessen Durchführbarkeit freilich von anderer Seite ebenso lebhaft bestritten wird (vgl. den Artikel „Entwickelungsmechanik").

4. Methodik der Physik. Nach diesen allgemeineren Betrachtungen wenden wir uns nun zur Physik im engeren Sinne. Sie ist zunächst und vor allem eine Experimentalwissenschaft; aber hieraus folgt nicht im geringsten, daß ihr Wesen und ihre Ansprüche damit erschöpft wären. Ist doch ihr historischer Ausgangspunkt sogar in der Hauptsache ein ganz anderer gewesen, ist sie doch im Altertum und noch lange ins Mittelalter hinein von all dem spekulativen Charakter gewesen, den in diesen Zeiten alle Wissenschaft überhaupt, ihrem ganzen Sinne nach und dem Interesse der Hauptbeteiligten entsprechend, hatte. Aber, so mancherlei Wertvolles auch aus diesen Zeiten an Besitzmaterial der Physik entstammt, so wird man doch nicht umhin können, als eigentliche Geburtsepoche dessen, was man heute Physik nennt, das Zeitalter von Bacon, Galilei und Newton anzusprechen. Seitdem ist die Physik eine Experimentalwissenschaft geblieben, in dem Sinne, daß man niemals aufgehört hat, die tatsächlichen Kenntnisse durch Versuche zu erweitern und zu bereichern. Aber auf der anderen Seite konnte sich der menschliche Geist unmöglich damit befriedigt erklären, jede einzelne Antwort einer erneuten Frage zu verdanken; es mußte sich in ihm der Wunsch regen, die Tausende von Einzelfragen logisch miteinander zu verknüpfen und so zur Spekulation zurückzukehren, freilich zu einer von der früheren himmelweit verschiedenen Spekulation; denn das, was wir seit Newton so nennen, unterwirft sich freiwillig und absichtlich der Herrschaft der Tatsachen und kennt nur die eine Aufgabe, zu untersuchen, bis zu welchem Grade man ihre kaum noch zu übersehende Anzahl ordnen und durch Ausscheiden der Mehrzahl verringern kann, um schließlich aus so wenigen Versuchsergebnissen wie irgend möglich sämtliche übrigen als logisch notwendig nachzuweisen. Einer der ersten Erfolge dieses Bestrebens war die Zurückführung der Pendelgesetze auf die Gesetze der Schwerkraft in Verbindung mit den Gesetzen der unfreien Bewegung; einer der neuesten ist die Zurückführung des Lichts auf elektromagnetische Schwingungen. Man kann hiernach nicht umhin, der Experimentalphysik als einer Methode der Physik eine andere als theoretische Physik gegenüberzustellen, die ohne die Hilfe jener nicht möglich wäre, sich schließlich aber an Erkenntniswert weit über sie erhebt. Man nennt gewöhnlich jene Methode induktiv, diese deduktiv, müßte dann aber strenggenommen hinzufügen, daß auch die deduktive Methode in den Grundlagen ihrer Entwickelungen auf induktivem Material beruht. Die theoretische Physik hat noch zwei andere Namen erhalten, die hier etwas ausführlicher betrachtet werden müssen, weil sie mit dem Wesen der Sache aufs engste verknüpft sind und weite Ausblicke erlauben. Der eine dieser Namen ist der der mathematischen Physik. Wenn man nicht mehr jede Tatsache aus dem Experiment entnimmt, sondern viele Tatsachen aus einigen wenigen, experimentell festgestellten durch reines Denken ableiten soll, so zeigt sich sofort, daß die Sprache des täglichen Lebens, und daß selbst die Methoden der formalen Logik zu diesem Geschäfte nicht ausreichen. Denn es kommt hier darauf an, so viele Schlüsse aneinander zu reihen und miteinander zu verketten, es ist zugleich von so entscheidender Wichtigkeit, alle Feststellungen nicht bloß qualitativ, sondern sogleich auch quantitativ zu machen, daß man von einem Fehlschluß zum anderen, von einer Unklarheit in die andere geraten und, am Ziele angelangt, nicht mehr im mindesten übersehen würde, ob das Ergebnis richtig und zwingend ist und, wenn es das nicht ist, wo der oder die Fehler stecken. Den besten Beweis hierfür liefert die Geschichte der Philosophie, in der es unter unzähligen kaum einen Satz gibt, der nicht von dem einen Denker bewiesen, dessen Beweis aber alsdann von einem anderen Denker als fehlerhaft und damit der Satz selbst als unrichtig hingestellt worden wäre. Es gibt hier nur ein einziges Auskunftsmittel: die Anwendung derjenigen Sprache, die alle anderen an Präzision und Ausgestaltung der Mannigfaltigkeiten unendlich übertrifft: der Mathematik. Und weiter: da die Grundformen unserer Anschauung, Raum und Zeit, von stetigem Charakter sind, so mußte der Aufschwung der theoretischen Physik notwendig zeitlich zusammenfallen mit der Erfindung derjenigen mathematischen Methode, die es uns ermöglicht, mit stetigen Größen und ihren Elementen zu rechnen; mit der Erfindung der Infinitesimalrechnung durch Newton und Leibniz. Allerdings folgt aus der Stetigkeit von Raum und Zeit noch nicht notwendig die Stetigkeit von Materie und Energie. Es gibt sogar für die Materie, wie man weiß, eine weithin herrschende Theorie, die das Gegenteil annimmt: die Atomistik oder Molekulartheorie, auf die die Infinitesimalrechnung zunächst keine Anwendung findet und durch eine andere Methode, die Statistik, ersetzt werden muß; aber schließlich fügt sich doch auch dieser Gegensatz

Digitized by Google

zu einer methodischen Einheit zusammen. Es kann darauf hier nicht näher eingegangen werden, ebensowenig wie auf die Frage der etwaigen Unstetigkeit auch der Energie, die gerade in der allerneuesten Zeit, im Zusammenhange mit der Quantentheorie, akut geworden ist.

Erst in der Form der mathematischen Physik ist die Physik eine ganze Wissenschaft geworden. Und das zeigt sich nicht bloß auf dem Gebiete der mathematischen Physik als solcher, sondern auch in ihrer Rückwirkung auf die Experimentalphysik. Der größte Teil der älteren experimentalphysikalischen Arbeiten ist heutzutage wertlos, weil diese Versuche ins Blaue hinein angestellt worden sind und deshalb oft gerade die entscheidenden Daten vermissen lassen; heutzutage wird kaum jemals eine Experimentaluntersuchung anders unternommen als im Hinblick auf die Wünsche und Fingerzeige, die die theoretische Physik zu erkennen gibt. Indem freilich die theoretische Physik sich höher und höher erhebt und damit immer mehr das Spezielle zum Allgemeinen zusammenfaßt, dringt sie schließlich in Gebiete, wo auch die mathematische Sprache zunächst noch versagt und nichts übrig bleibt als die Methode des reinen Denkens. Hier fügt sich das Ende zum Anfang, und die Physik wird wieder, freilich in einem höheren und strengerem Sinne, zur Naturphilosophie. Und da ist es interessant zu konstatieren, daß sie diesen Namen wenigstens bei einem der mitarbeitenden Völker, bei den Engländern, schon durch Newton erhalten und seitdem bis auf den heutigen Tag bewahrt hat: dort wird auch im formalen und offiziellen Sinne theoretische Physik als „Natural Philosophy" bezeichnet. Und in den Ländern deutscher Zunge erfreuen wir uns seit länger als einem Menschenalter eines Denkers und Forschers, der als eminenter Vertreter dieser zur Naturphilosophie gewordenen theoretischen Physik gelten darf: Ernst Mach in Wien. Wie man angesichts dieser Verhältnisse, angesichts des Wirkens eines Mach, Poincaré und vieler anderer dem Physiker noch das Recht bestreiten will zu philosophieren, erscheint unverständlich (vgl. den Artikel „Naturwissenschaft").

5. Aufgabe der Physik. Nach dem Gesagten ergibt sich das Thema der Physik von selbst: die Energetik der Naturerscheinungen. Wenn man aber daran geht, diesem Hauptworte ein Handlungswort beizugesellen, wenn man sagen soll, was denn nun die Energetik mit den Naturerscheinungen tun solle, so kommt man in eine neue Verlegenheit. Die einen sagen: erklären; die anderen, deren Wortführer in neuerer Zeit Kirchhoff geworden ist, sagen: beschreiben. Im Grunde ist das für den, der sich einerseits der Begrenztheit menschlicher Erkenntnis bewußt ist und andererseits nicht gewillt ist, an der Oberfläche zu bleiben, kein Gegensatz. Denn wenn die Beschreibung nach der Forderung Kirchhoffs bei tunlichster Vollständigkeit zugleich so einfach gestaltet werden soll wie möglich, so ergibt sich das Eindringen in das Wesen der Dinge von selbst, und die Beschreibung wird zur Erklärung, natürlich ohne die Vorspiegelung einer Erkenntnis der letzten Ursachen. Das Wort Ursache, die Idee der Kausalität wird überhaupt bei Seite gelassen, es wird statt dessen von Bedingungen, Konfigurationen und Aehnlichem gesprochen. — Die besondere Form, in die die Beschreibung gekleidet werden kann, ist sehr mannigfaltig. Aber darüber kann kein Zweifel bestehen, welches die einfachste und für Den, der zu lesen versteht, die vollkommenste ist: die mathematische Formel; in ihr ist Alles enthalten, was an dem betreffenden Phänomen oder Phänomenkomplex exakt und wissenschaftlich ist. Aber manche Physiker und die Mehrzahl der für den Gegenstand sich interessierenden Laien ist hierdurch nicht voll befriedigt, er sieht darin reinen Formalismus und glaubt für die menschliche Erkenntnis eine weitere, angeblich höhere Stufe beanspruchen zu dürfen. Da bleibt denn nichts anderes übrig, als den Boden der Tatsachen zu verlassen und zu demjenigen Hilfsmittel zu greifen, das uns Menschen mehr als alles andere fasziniert: zur Bildersprache. So entstehen die physikalischen Weltbilder. Das bekannteste, fruchtbarste und auch in unserer Zeit wieder sehr beliebte Bild ist das der Atomistik; aber es sind auch zahlreiche andere entworfen worden. Man muß sich nur davor hüten zu glauben, daß damit mehr erreicht sei, als eben die Naturerscheinungen durch ein Bild zu erfassen; die wirklichen Erkenntnisschwierigkeiten werden damit nicht überwunden, sondern nur zurückgeschoben. Natürlich kann man schließlich auch das gewählte Bild durch die mathematische Formel meistern; und wenn es alsdann nachträglich gelingt, diese Formel zu bereinigen und das Bild, das nun seine heuristische Schuldigkeit getan hat, aus ihr zu entfernen, dann ist immerhin ein weiterer Schritt auf der Stufenleiter der Erkenntnis getan.

6. Gliederung der Physik. Zuletzt noch ein Wort über die Gliederung der Physik. Je weiter die Erkenntnis fortschreitet, je tiefer sie eindringt, je inniger sie die verschiedenen Erscheinungen miteinander verknüpft, desto schwieriger wird es, das betreffende Wissensgebiet zu gliedern. Lange Zeit hindurch zerfiel die Physik in fünf Kapitel: Mechanik, Akustik, Kalorik, Optik,

Digitized by Google

Elektrik und Magnetik. Aber die Akustik gehört, von ihrer Beziehung zu einem unserer Sinnesorgane abgesehen, durchaus zur Mechanik; und auch die Kalorik ist unter dem Namen einer Thermodynamik mehr und mehr mit der Mechanik verschmolzen, von der sie sich nur durch Hinzufügung einer weiteren Mannigfaltigkeit (zu denen von Ort und Zeit, Druck und Dichte kommt hier noch die Temperatur hinzu) unterscheidet. Andererseits haben sich diejenigen Erscheinungen, die wir mit dem Auge wahrnehmen, als eine besondere Klasse elektromagnetischer Schwingungs- und Wellenphänomene erwiesen. So blieben noch die beiden großen Teile übrig: Physik der Materie und Physik des Aethers. Aber auch diese drohen ihre Selbständigkeit einzubüßen in einer Zeit, in der auf der einen Seite über die reale und unabhängige Bedeutung der Masse, als des Maßes der Materie, auf der anderen Seite aber über die Notwendigkeit und Ersprießlichkeit der ferneren Benutzung der Aetheridee ernsthaft diskutiert wird. Die bisherige Gliederung wäre dann völlig in sich zusammengebrochen, und es wird dann, da doch aus praktischen Gründen eine Gliederung fast unerläßlich ist, an der Zeit sein, sich darüber schlüssig zu machen, nach welchen, jedenfalls ganz neuen Gesichtspunkten man die einzelnen Kapitel der Physik abzusondern haben wird.

Literaturangaben über das vorstehende Thema zu machen, ist aus offensichtigen Gründen untunlich. In allen Lehr- und Handbüchern der Physik sowie in den in den letzten Jahrzehnten so zahlreich erschienenen Schriften zur Naturphilosophie und Erkenntnistheorie findet man zusammenhängende oder zerstreute Erörterungen über das Thema.

F. Auerbach.

Physik der Sonne.

1. Die Quellen der Erkenntnis in der Sonnenforschung. Maßbestimmungen. 2. Strahlung und Temperatur der Sonne: a) Helligkeit. b) Solarkonstante. c) Erste Schlüsse über den physikalischen Zustand der sichtbaren Schichten. 3. Die Erzeugung und Ausbreitung des Lichts in ausgedehnten Gasmassen: a) Emission. b) Refraktion und Erklärungen des Sonnenrandes. c) Absorption, Dispersion und Diffusion. 4. Das teleskopische Bild der Sonne: a) Sonnenflecken. b) Sonnenfackeln. c) Granulation. d) Fleckentheorien. e) Totale Sonnenfinsternisse, Korona. f) Chromosphäre und Protuberanzen. g) Erklärungen dieser Gebilde. 5. Spektroskopie der Sonne: a) Das Spektrum der Gesamtstrahlung. b) Linienverschiebung und ihre Ursachen. c) Die Spektra einzelner Teile des Sonnenbildes (Zentrum und Rand; Chromosphäre und Protuberanzen; Flecken; Korona). 6. Die spektroheliographischen Bilder: a) Die Beobachtungsmethode. b) Erste Deutung der Resultate. c) Zweite Deutung der Resultate. 7. Bewegungen auf der Sonne: a) Verschiedene Rotationsgeschwindigkeiten. b) Die Eigenbewegung der Flecken. c) Die zweifelhaften Bewegungserscheinungen. d) Die Periodizität der Sonnenphänomene.

1. Die Quellen der Erkenntnis in der Sonnenforschung. Maßbestimmungen. Physik ist ökonomisch geordnete Erfahrung (E. Mach, 1882). Die Physik der Sonne bezweckt also die Darstellung aller Erfahrungen bezüglich der Sonne in einer solchen Ordnung, daß ein möglichst ökonomischer Begriff von dem Himmelskörper sich ausbildet, das heißt ein Begriff, aus dem man auf Grund anderweitig schon bekannter Beziehungen auf geläufige Weise die Erfahrungen als Folgen herleiten kann.

Eine von theoretischen Vorstellungen unabhängige Beschreibung der Beobachtungsresultate würde jenem Zwecke nicht entsprechen.

Es wäre auch unmöglich eine solche zu geben. Sogar die Benennung der Erscheinungen beruht meistens auf Vergleichung mit bekannten Objekten oder Prozessen und schließt schon deswegen theoretische Vorstellungen ein. Die Einteilung der „Protuberanzen“ in „ruhende“ und „eruptive“ z. B. enthält eine Vermutung über die Natur jener Gebilde. Das ist ja auch der einzige Weg um neue Begriffe den bekannten anzureihen. Jede geordnete Darstellung von Erfahrungen findet nach bestimmten theoretischen Gesichtspunkten statt. Mit dem Gesichtspunkte aber ändert sich die Einordnung der Tatsachen, und es kann dabei vorkommen, daß eine Erscheinung ihren alten Namen zwar beibehält, der Name aber seine ursprüngliche Bedeutung verliert. Wenn man jetzt von „polarisiertem“ Lichte spricht, denkt man nicht länger, wie Biot und Arago, an eine Polarität der Lichtteilchen. Dem Worte „Sonnenoberfläche“ entsprechen im Laufe der Zeit sehr verschiedene Vorstellungen.

Die Physik der Sonne ist somit ein in fast allen Teilen veränderlicher, immerwachsender Gedankenbau. Relativ feste Elemente darin sind die Bausteine, die unmittelbaren Ergebnisse der stets verfeinerten Beobachtungen; aber auch diese Steine haben verschiedene Seiten, und von ihrer Orientierung und Anordnung hängt die Zweckmäßigkeit des Bauwerkes ab.

Den Leitfaden zur Beobachtung und Klassifikation der Sonnenerscheinungen entnimmt man der Gesamtheit unserer jeweiligen naturwissenschaftlichen Kenntnisse, insbesondere auf den Gebieten der Astronomie, Physik, Chemie und Geologie. Neue Ge-

Digitized by Google

sichtspunkte in jenen Wissenschaften, wie sie z. B. durch die Entwickelung der Thermodynamik, der Spektroskopie, der Elektronik, der Strahlungslehre, der Radioaktivitätslehre geschaffen worden sind, müssen deshalb sogleich auch den Leitfaden der Sonnenforschung beeinflussen.

Das mächtigste Hilfsmittel der physikalischen Forschung, das direkte Experiment, versagt leider beim Studium der Sonnenphänomene. Nur Lichterscheinungen sind uns in großer Fülle gegeben; die Resultate ihrer Beobachtung deuten wir nach Analogie mit der Erklärung der Erscheinungen der irdischen Physik, und oft werden neue physikalische Untersuchungen dadurch veranlaßt.

Wenn wir unter „Licht" nicht bloß sichtbare, sondern auch ultraviolette und infrarote Strahlung (vgl. die Artikel „Ultraviolett" und „Infrarot") verstehen, so können wir behaupten, daß die ungeheure Energiemenge, aus der alles Bewegen und Leben und Treiben auf der Erdoberfläche hervorgeht, fast ganz dem Lichte der Sonne entstammt. Eine Ausnahme bildet die Energie der Gezeiten und einiger geologischen Phänomene; außerdem gibt es gewisse, mit dem Aussehen der Sonne sich ändernde Erscheinungen auf den Gebieten des Erdmagnetismus und der Meteorologie, welche anderen Sonnenwirkungen zugeschrieben werden, nämlich elektrischen und magnetischen Einflüssen, die man, nach den neuesten physikalischen Anschauungen, auf die Wirkung von Konvektionsströmen elektrisch geladener Sonnenteilchen zurückführt. Der Energie der gesamten Lichtstrahlung gegenüber scheint jedoch die Energie jener Korpuskularstrahlung gering zu sein.

Jedenfalls beruhen unsere Vorstellungen von der Sonne zum größten Teil auf der Deutung von Lichterscheinungen.

Unter Voraussetzung absolut geradliniger Fortpflanzung des Lichtes durch den Himmelsraum, und mit Berücksichtigung der Refraktion in der Erdatmosphäre, haben die Astronomen die jeweiligen Stellungen von Sonne und Planeten an der Himmelskugel genau bestimmt und ihre Ortsveränderungen gemessen. Daraus ergab sich — nach verschiedenen Methoden die der allgemeinen Astronomie angehören und hier nicht näher erörtert werden sollen — für die Sonnenparallaxe (d. i. für den Winkel unter dem, von dem Mittelpunkt der Sonne aus gesehen, der Halbmesser des Erdäquators erscheinen würde) der Wert 8″,80. Setzt man den Halbmesser der Erde am Aequator gleich 6377,5 km, so folgt für die mittlere Entfernung Erde-Sonne der Wert

$$R = 149500000 \text{ km} = 1{,}495 \times 10^{13} \text{ cm}.$$

Anfang Januar ist (wegen der Elliptizität der Erdbahn) die Entfernung 2500000 km kleiner, Anfang Juli 2500000 km größer.

In der mittleren Entfernung erscheint uns der Halbmesser der Sonne unter dem Winkel $\varphi = 15' \, 59'',63$: seine wirkliche Länge ist also $r = R \operatorname{tg} \varphi = 6{,}955 \times 10^{10}$ cm $= 109 \times$ den Halbmesser der Erde. Das Volumen der Sonne berechnet sich folglich zu $1{,}41 \times 10^{33}$ cm³ $= 1300000 \times$ das Volumen der Erde.

Auf Grund des Newtonschen Gravitationsgesetzes hat man die Masse der Sonne 330000 mal so groß als die der Erde gefunden; die mittlere Dichtigkeit der Sonne beträgt somit nur $\frac{33}{130}$ (d. i. etwa ein Viertel) von der mittleren Dichtigkeit der Erde. Setzt man für letztere den Wert 5,5 an, so ergibt sich als Masse der Sonne

$$1{,}41 \times 10^{33} \times 5{,}5 \times \frac{33}{130} = 1{,}96 \times 10^{33} \text{ g}.$$

2. Strahlung und Temperatur der Sonne.

2a) Helligkeit. Die Stärke des Sonnenlichtes beurteilt man nach der Helligkeit der Beleuchtung einer senkrecht zu den Sonnenstrahlen gestellten ideal diffus reflektierenden (vollkommen weißen) Ebene. Einheit der Beleuchtungshelligkeit ist die Meterkerze, d. h. diejenige Helligkeit, welche die Lichteinheit (Hefnerkerze), in 1 m Entfernung von einer solchen Ebene gestellt, daran hervorruft. Zur unmittelbaren photometrischen Vergleichung mit dieser Einheit ist das Sonnenlicht zu stark; man schwächt es also zunächst nach irgendeiner Methode in einem bekannten Verhältnis (z. B. auf $^1/_{10000}$) ab, und bestimmt mit dem Photometer die Helligkeit dieses Bruchteils in Meterkerzen. Wegen der Extinktion des Lichts in der Erdatmosphäre hängt das Ergebnis der Messung von der Sonnenhöhe ab, und ist auch sonst mit dem Zustand der Atmosphäre sehr veränderlich. Steht die Sonne im Zenit, so ist bei klarem Himmel die Helligkeit der Sonnenbeleuchtung an der Erdoberfläche von der Größenordnung 50000 Meterkerzen.

Wiederum 50000 mal so groß wie diese Beleuchtungshelligkeit ist die mittlere Flächenhelligkeit der Sonnenscheibe. Sie übertrifft die Flächenhelligkeit des Vollmondes 600000 mal, diejenige des geschmolzenen Stahls im Bessemerofen 5300 mal, die des positiven Kraters einer Bogenlampe etwa 4 mal.

Wenn man von der Sonne ein nicht zu lichtstarkes Bild entwirft, beobachtet man daß die Flächenhelligkeit nach dem Rande hin sehr merkbar abnimmt, und zwar nicht

Digitized by Google

für alle Farben im gleichen Maße, denn den zentralen Teilen gegenüber erscheinen die Randteile rötlichgrau. Mit Hilfe eines Spektralphotometers bestimmte H. C. Vogel die Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe für sechs den Hauptfarben entsprechende Teile des Spektrums. Einen Auszug aus den Ergebnissen dieser Untersuchung zeigt die Tabelle, deren erste Spalte die Abstände vom Mittelpunkt in Bruchteilen des Radius angibt.

Abstand vom Zentrum	violett 405—412 μμ	indigo 440—446 μμ	blau 467—473 μμ	grün 510—515 μμ	gelb 573—585 μμ	rot 658—666 μμ
0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
0,2	98,5	98,7	98,8	98,7	99,2	99,5
0,4	93,4	94,1	94,7	94,3	96,7	98,6
0,6	82,4	84,9	87,0	86,2	90,9	94,8
0,8	63,7	67,0	71,7	70,9	74,6	84,3
0,9	47,7	50,2	57,6	56,0	59,0	71,0
0,95	34,7	35,0	45,6	44,0	46,0	58,0
1,0	13,0	14,0	16,0	16,0	25,0	30,0

Die Abnahme der Lichtstärke nach dem Rande hin ist also für violett erheblich größer als für rot, wird aber nicht mit zunehmender Wellenlänge gleichmäßig geringer, sondern weist einen anomalen Gang auf in der Umgebung von 500 μμ. Eine Bestätigung dieser interessanten, aus dem Jahre 1877 stammenden Beobachtungen, die seitdem nicht in gleicher Ausführlichkeit wiederholt wurden, wäre sehr erwünscht. Für Ultraviolett ergab sich die Abnahme größer als für violett, für infrarot kleiner als für rot.

Zur Erklärung des Helligkeitsabfalles haben viele Forscher — indem sie die Hauptmasse der Sonne als eine gleichmäßig leuchtende Kugel auffaßten — die Annahme gemacht, daß in der Sonnenatmosphäre eine kräftige allgemeine Absorption stattfinde. Als absorbierten Bruchteil der Lichtstrahlung fand z. B. Laplace $^{11}/_{12}$, Pickering $^{3}/_{4}$, Vogel $^{1}/_{2}$, Schuster $^{2}/_{3}$ oder $^{1}/_{2}$, Seeliger $^{1}/_{3}$, je nach den Voraussetzungen bei der Berechnung. Selbstverständlich muß der Zustand jener Atmosphäre im großen und ganzen stationär sein; ihre Energieeinnahme kann die Abgabe nicht dauernd übertreffen; sie muß die gesamte absorbierte Lichtenergie in irgendeiner Form wieder los werden und zwar zur Hälfte nach außen. Nun hat sich aber aus Beobachtungen über den Verlauf der Gesamtstrahlung bei totalen Sonnenfinsternissen (Astroph. Journ. **23**, 312, 1906) und in besonders überzeugender Weise bei der ringförmigen Sonnenfinsternis vom 17. April 1912 (Proc. Roy. Acad. Amsterdam Vol. **14**, 1195) ergeben, daß von der ganzen Strahlungsenergie (ultraviolette, sichtbare und infrarote) die wir von der Sonne erhalten, gewiß nicht mehr als ein tausendstel aus der Sonnenatmosphäre herkommen kann. Indem also die Sonnenatmosphäre nur einen sehr kleinen Teil der Gesamtstrahlung emittiert und zerstreut, erscheint es unmöglich, anzunehmen, daß sie einen großen Bruchteil absorbiere und daß die Hauptursache der Helligkeitsabnahme nach dem Rande hin außerhalb des Niveaus der scheinbar scharfen Begrenzung, d. h. außerhalb der sogenannten Photosphäre, liege. Die Voraussetzung, daß ohne Absorption in der Sonnenatmosphäre die Photosphäre gleichförmig hell erscheinen würde, steht also mit den bisherigen Beobachtungen im Widerspruch. Einer anderen Erklärung des Helligkeitsabfalles werden wir weiter unten (S. 832) begegnen.

2b) Solarkonstante. Um die totale Energie, welche die Sonne ausstrahlt, in absolutem Maße ausdrücken zu können, hat man den Begriff „Solarkonstante" eingeführt. Darunter versteht man die Anzahl von Grammkalorien, in welche sich diejenige Strömung strahlender Energie der Sonne verwandeln würde, welche in jeder Minute auf einen Quadratzentimeter einer vollkommen absorbierenden Fläche senkrecht auftreffen würde, falls die Fläche sich außerhalb der Grenze der Erdatmosphäre befände.

Einer direkten Messung ist die Solarkonstante nicht zugänglich. Man kann zunächst mit einem Aktinometer oder Pyrheliometer (von Pouillet, Violle, Ångström, Abbot) die Wärmemenge bestimmen, welche eine möglichst „schwarze" Fläche in der Zeiteinheit aufnimmt, wenn sie in verschiedenen Höhen über der Erdoberfläche, zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten den Sonnenstrahlen ausgesetzt wird. Setzt man dann die Resultate solcher Beobachtungen mit den Ergebnissen spektrobolometrischer Messungen in Verbindung (Langley, Abbot) und macht man dazu noch Voraussetzungen über die Extinktion in den höheren Luftschichten,

so läßt sich eine Korrektion berechnen, die man zu der beobachteten Zahl von Grammkalorien pro cm² und Minute hinzuaddieren muß, um schließlich die Solarkonstante herauszubekommen. Aus den neueren Bestimmungen der Solarkonstante seien erwähnt die Resultate von

	S = g-cal pro Min.
Ångström (1907)	2,17
Scheiner (1908)	2,25
Abbot u. Fowle (1908) .	2,1
Abbot (1910)	1,95
Kimball (1910)	1,934 bis 2,131.

Man ist in den letzten Jahren geneigt, die großen Schwankungen dieser Zahlen nicht ganz der Unsicherheit der Korrektion, sondern teilweise einer wirklichen Veränderlichkeit der Solarkonstante von einigen Prozenten zuzuschreiben (3 bis 10% in Perioden von 5 bis 10 Tagen).

Die ganze von der Sonne in einer Minute ausgestrahlte Energiemenge ist nun $4\pi R^2 \times S$. Setzt man $S = 2$, $R = 1{,}495 \times 10^{13}$ cm ein, so gibt das:
$5{,}6 \times 10^{27}$ Grammkalorien pro Minute, oder
$2{,}94 \times 10^{33}$ Grammkalorien pro Jahr.

Da die Masse der Sonne $1{,}96 \times 10^{33}$ g beträgt, so liefert im Durchschnitt jedes Gramm der Sonne jährlich 1,5 Kalorie.

Dividiert man die ganze in einer Sekunde ausgestrahlte Energiemenge $4\pi R^2 \times {}^1/_{60}$ S durch die Oberfläche $4\pi r^2$ der Sonne, so gibt der Quotient

$$E = {}^1/_{60} \left(\frac{R}{r}\right)^2 S \text{ g-cal} = \frac{41{,}8 \times 10^6}{60} \left(\frac{R}{r}\right)^2 S \text{ erg}$$
$$= 6{,}447 \times 10^{10} \text{ erg}$$

die von 1 cm² der Sonnenoberfläche pro Sek. ausgestrahlte Energie. Daraus läßt sich die effektive Sonnentemperatur berechnen, d. h. die Temperatur, welche ein absolut schwarzer Körper besitzen würde, wenn er gleich stark wie die Sonne strahlte. Für die Gesamtstrahlung S_T des absolut schwarzen Körpers pro cm² und Sek. bei der absoluten Temperatur T gilt nämlich das Stefan-Boltzmannsche Gesetz:

$$S_T = \sigma T^4.$$

Darin ist nach Messungen von Kurlbaum $\sigma = 5{,}32 \times 10^5$ erg pro cm² und Sek.

Wäre nun S_T gleich dem oben für die Sonne gefundenen Wert E, so würde sich für die Temperatur des schwarzen Körpers ergeben

$$T = 5900^\circ \text{ abs.}$$

Dies ist also die effektive Sonnentemperatur. Andere, auf dem Wienschen oder dem Planckschen Strahlungsgesetz beruhende Bestimmungsmethoden haben dafür Zahlen geliefert, die zwischen 5500° und 10000° abs. schwanken.

Strahlt die Sonne nicht wie ein schwarzer Körper, so muß die wahre Temperatur derjenigen Schichten aus denen die Strahlung hauptsächlich stammt (d. h. der Photosphäre) im Mittel höher als die effektive sein; wie hoch, läßt sich aber nicht angeben; und da man kaum daran zweifeln kann, daß im allgemeinen die Hitze nach innen zunimmt, hält man das Obwalten von Temperaturen zwischen 5000° und 12000° in den unserer Beobachtung zugänglichen Teilen der Sonne für wahrscheinlich.

2c) Erste Schlüsse über den physikalischen Zustand der sichtbaren Schichten. Aus dem Vorhergehenden können wir nun bereits wichtige Schlüsse über den physikalischen Zustand der sichtbaren Schichten ziehen. Spektroskopische Untersuchungen (siehe unten, 5a) haben nämlich ergeben, daß die Sonne im wesentlichen aus den gleichen Stoffen aufgebaut ist wie die Erde. Für die allermeisten irdischen Elemente liegt aber die kritische Temperatur (vgl. den Artikel „Aggregatzustände") unterhalb 5000° abs., und wahrscheinlich erreicht sie für keines derselben einen höheren Wert als 10000°. Deshalb befinden sich fast alle uns bekannten Elemente auf der Sonnenoberfläche in dem Zustand permanenter Gase. In den tieferen Regionen, deren Strahlung die äußeren Schichten nicht mehr zu durchdringen vermag, muß das wegen der nach innen wachsenden Temperatur um so mehr der Fall sein. Die ganze Sonne ist also im wesentlichen ein ungeheurer Gasball.

Freilich ist die Möglichkeit der Bildung flüssiger oder fester Partikelchen darin nicht ausgeschlossen; denn aus dem Sonneninnern her durch die Gasmasse aufsteigend, muß man notwendig der Reihenfolge nach alle isothermischen Flächen passieren, in denen von irgendeinem bekannten oder unbekannten Elemente oder irgendeiner chemischen Verbindung die kritische Temperatur herrscht. Wo nun jenseits einer solchen Fläche die Partialspannung des betreffenden Dampfes dessen Sättigungsspannung übertrifft, findet Kondensation statt.

Für die meisten uns bekannten Stoffe wird dieser Fall wohl nirgends eintreten; aber vielleicht gibt es auf der Sonne Elemente oder Verbindungen von so hoher kritischer Temperatur und genügend hoher Konzentration in dem Gasgemisch, daß die Partialspannung ihrer Dämpfe in einem gewissen Niveau den Sättigungswert erreicht. An solchen Stellen werden nun alle Ursachen, welche die Kondensation beeinflussen (lokale Temperaturschwankungen, Ionisation der Gase, usw.), das Volumen des kondensierbaren Bestandteils stark verändern. Das bedingt aber zugleich stellenweise Schwankungen der Dichte des ganzen Gas-

Digitized by Google

gemisches, und fördert also das Auftreten unregelmäßiger Dichtegradienten.

Störungen in der Gleichmäßigkeit der Dichteabnahme nach außen hin müssen in einem Gemisch lauter permanenter Gase schon deshalb entstehen, weil die Abkühlung zu Konvektionsströmen Anlaß gibt (deren eigentümlicher, durch die Achsendrehung beeinflußter Verlauf in dem Emdenschen Buch „Gaskugeln" [siehe Literatur] eingehend erforscht wird); sind aber kondensierbare Dämpfe mit im Spiele, so fallen die Dichteschwankungen des Gemenges notwendig größer aus.

Obgleich die Gravitationskraft an der Sonnenoberfläche 27,5 mal so groß ist als an der Erdoberfläche, so darf man daraus nicht folgern, daß auch die radiale Dichtigkeitsabnahme der Gase auf der Sonne größer als auf Erden sein muß. Denn erstens ist wegen der starken Strahlung der Sonne der nach außen gerichtete Strahlungsdruck keineswegs gegen die Gravitation zu vernachlässigen, ja übertrifft dieselbe sogar mehrere Male für Partikelchen gewisser Größe. Zweitens ist man gezwungen anzunehmen, daß die gesamte Elektronenemission der Sonnenmasse sowohl den Gasmolekülen als den größeren Teilchen Impulse gibt, deren Resultanten im Mittel der Gravitationswirkung entgegengesetzt gerichtet sind. Beide Ursachen bewirken eine Verkleinerung des radialen Dichtigkeitsgradienten und lassen also die unregelmäßigen Gradienten entsprechend stärker hervortreten. Aus denselben Gründen ist auch eine Lagerung der Sonnengase genau in der Reihenfolge ihrer Atom- oder Molekulargewichte nicht wahrscheinlich. Partikelchen kondensierter Substanzen mit hohem Molekulargewicht könnten z. B. durch den Strahlungsdruck gehoben werden und oben, wegen des kleineren Partialdrucks, wieder verdampfen. Die Mischung der Gase würde dadurch gefördert. Aber jedenfalls muß doch die mittlere Zusammensetzung des Gasgemisches von den inneren Schichten nach außen hin sich allmählich stark ändern.

Das Hinzutreten des Strahlungsdrucks (vgl. den Artikel „Strahlung") und der Elektronenimpulse (vgl. den Artikel „Elektronen") zu der Gravitationskraft macht es außerdem leichter verständlich, daß die mittlere Dichte der Sonne nur ein Viertel von der der Erde beträgt.

3. Die Erzeugung und Ausbreitung des Lichts in ausgedehnten Gasmassen. Bei der Deutung der mannigfaltigen Lichterscheinungen der Sonne, die wir in den nächsten Abschnitten beschreiben wollen, wird man sich stets gegenwärtig halten müssen, daß die Quelle des Lichtes eine Stoffmasse von der oben skizzierten Beschaffenheit ist.

3a) Emission. Im Laboratorium geben nun leuchtende Gase und Dämpfe bekanntlich im allgemeinen Linien- oder Bandenspektra, nicht nur wenn sie durch chemische Prozesse, elektrische Entladungen oder Bestrahlung erregt werden (vgl. den Artikel „Lumineszenz"), sondern auch bei genügend hoher Temperatur im elektrischen Ofen (King). Erhöht man den Druck des Dampfes, so tritt in einigen Fällen eine starke Verbreiterung der Linien ein, in anderen Fällen bleiben die Linien zunächst ziemlich scharf und es kommt ein kontinuierliches Spektrum hinzu. Fortgesetzte Vergrößerung der Dichte muß aber unbedingt das diskontinuierliche Emissionsspektrum schließlich in ein kontinuierliches überführen.

Da man sich also die Leuchtkraft der Sonnenmasse von außen nach innen allmählich zunehmend und ihr Emissionsspektrum stetig von einem Linienspektrum in ein kontinuierliches übergehend denken muß, erscheint die scharfe Begrenzung der Sonnenscheibe als ein unerwartetes Phänomen, das einer besonderen Erklärung bedarf.

Die ältere, noch ziemlich verbreitete Ansicht (Young), es werde die helleuchtende Kugelfläche, die Photosphäre, von einer zusammenhängenden, weißes Licht ausstrahlenden Wolkenschicht gebildet, steht mit dem Gesetz der Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe und mit dem Ergebnis der Strahlungsmessungen bei Sonnenfinsternissen im Widerspruch (vgl. S. 826), und läßt sich aus mehreren Gründen nicht länger aufrecht erhalten.

3b) Refraktion und Erklärungen des Sonnenrandes. Eine eigentümliche, dioptrische Erklärung des Sonnenrandes rührt von A. Schmidt her, dem das Verdienst gebührt, die ordentliche Berücksichtigung der Refraktion in die Sonnenphysik eingeführt zu haben („Die Strahlenbrechung auf der Sonne, ein geometrischer Beitrag zur Sonnenphysik", Stuttgart 1891). Schmidt betrachtet die Sonne als einen unbegrenzten Gasball, dessen Brechungsindex von innen nach außen stetig abnimmt, zunächst langsam, dann schneller, nachher wieder langsamer, um sich schließlich der Einheit zu nähern. In einem solchen Medium erfolgt die Fortpflanzung des Lichts krummlinig. Jeder Strahl gehorcht den Gesetzen:

$$\varrho = \frac{n}{n'} \qquad \text{und} \qquad n r \sin\alpha = \text{konst.}$$

(ϱ ist der Krümmungsradius des Lichtstrahls in einem Punkte, wo n der Brechungsindex, n' die zur Richtung des Strahls senkrechte Komponente des Gefälles des Brechungsindex ist. Ferner stellt r den Radiusvektor des betrachteten Punktes vor, und α den Winkel zwischen Lichtstrahl und Radiusvektor. Man vergleiche die Artikel über „Lichtbrechung" und über „Atmosphärische

Digitized by Google

Optik"). Diese zwei Gleichungen bestimmen die Lösung des Problems, die wir leider aus Mangel an Raum hier nicht streng entwickeln können. Das Resultat ist folgendes:

In jedem Punkte der Gasmasse ist der horizontale Lichtstrahl stärker als jeder andere gekrümmt. Betrachten wir zunächst bloß horizontale Strahlstücke (Fig. 1). Weit vom Zentrum ist deren Krümmung unmerkbar, also $\varrho = \infty$; mit abnehmender Entfernung r nimmt auch ϱ ab, und zwar schneller als r, bis sogar $\varrho < r$ wird (in größeren Tiefen, die wir jetzt außer Betracht lassen, muß wiederum $\varrho > r$ sein). Es gibt somit eine bestimmte Entfernung vom Mittelpunkt, wo $\varrho = r$ ist. Die Kugel mit diesem Radius nennt Schmidt die „kritische Sphäre"; sie ist in den Figuren 1 und 2 mit Z angedeutet.

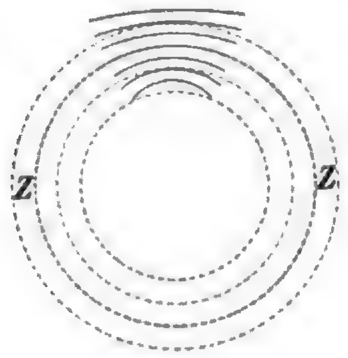


Fig. 1.

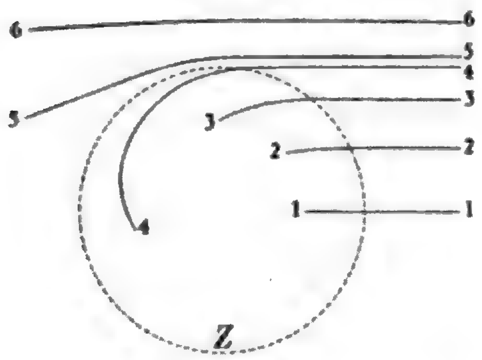


Fig. 2.

Wir wollen nun einige aus dem Gasball austretende Strahlen ins Auge fassen, die alle schließlich in nahe derselben Richtung die weit entfernte Erde treffen (Fig. 2). Der Strahl 1 hat die Schichten senkrecht durchschnitten und wurde deshalb nicht abgelenkt. Die Strahlen 2, 3, 4 aber müssen in gebogenen Bahnen die Sonne durchsetzt haben; sie stammen alle aus hellleuchtenden Schichten, die sich tief unter der kritischen Sphäre befinden. Die Strahlen 5, 6 usw. blieben in ihrem ganzen Verlauf außerhalb der kritischen Sphäre und enthalten also nur die Emission der sehr schwach leuchtenden äußeren Teile der Gasmasse. Zwischen 4 und 5 muß sich ein Strahl befinden, der nach unzähligen Umläufen in der kritischen Sphäre, dieselbe asymptotisch verlassen hat; er markiert den jähen Uebergang von Stellen, die uns in dem hellen Licht des tiefen Innern erscheinen, zu solchen, die uns bloß das Emissionslicht der dünnen Gase zeigen. Obgleich an der Kugelfläche Z eine physikalische Unstetigkeit gar nicht besteht, erscheint also jene kritische Sphäre wie eine scharf begrenzte, in weißem Licht strahlende Scheibe.

Gegen diese rein dioptrische Erklärung des Sonnenrandes hat man nun aber mit Recht eingewendet, es sei wegen der Absorption und Diffusion des Lichts unmöglich, daß Strahlen, die innerhalb der kritischen Sphäre so außerordentlich lange Wege zurückgelegt haben, noch eine merkliche Lichtmenge aus großen Tiefen mit sich führen. Den zahlenmäßigen Beleg für diesen Einwand liefert sowohl die Theorie des Lichtdurchgangs durch materielle Medien, wie der Vergleich mit der Schwächung, welche das Licht bereits auf dem kurzen Weg durch die Erdatmosphäre erleidet.

In ganz anderer Weise versucht deshalb Schwarzschild, das Rätsel des Sonnenrandes zu lösen. Er bemerkt, daß eine Länge von 700 km auf der Sonne uns unter einem Winkel von nur 1″ erscheint, also kaum sichtbar ist. Wenn demnach die Dicke der Uebergangsschicht zwischen den Regionen mit kontinuierlichem Emissionsspektrum und dem Gebiete der durchsichtigen Atmosphäre nur etwa 700 km oder kleiner wäre, so müßte man schon einen anscheinend plötzlichen Helligkeitssprung beobachten. Nun geht, nach Schwarzschild und Emden, aus thermodynamischen Betrachtungen wirklich hervor, daß eine so schnelle Zunahme der Dichte und der Temperatur mit der Tiefe sehr wahrscheinlich sei. Die Resultate fallen zwar verschieden aus je nach den vorausgesetzten Gleichgewichtsbedingungen (ob nämlich isothermisches, oder adiabatisches, oder Strahlungsgleichgewicht usw. herrscht), aber alle jene Berechnungen führen auf einen Dichtigkeitsgradienten, der steil genug ist um daraus den scheinbar schroffen Helligkeitsunterschied am Sonnenrande zu erklären.

Indessen unterliegt auch dieser Versuch, das Problem zu lösen, gewichtigen Bedenken. Die erwähnten Berechnungen stützen sich nämlich auf der Annahme, daß in der Sonnenmasse der Druck nur durch die Gravitationskraft bestimmt wird; aber die unleugbare Gegenwirkung des Strahlungsdrucks und der Elektronenemission, die dabei bis jetzt nicht zahlenmäßig berücksichtigt werden konnte, entzieht den Rechnungen die Beweiskraft; sie muß den Wert des Dichtigkeitsgradienten jedenfalls bedeutend herabsetzen.

Digitized by Google

Uebrigens deuten auch manche Erscheinungen, die wir später besprechen werden (schwebende Protuberanzen u. dgl.) darauf hin, daß die radiale Aenderung der Dichte sehr langsam vor sich geht.

Der scharfe Sonnenrand wurde also noch nicht einwandsfrei erklärt. Zweifellos spielt in dem Phänomen die Strahlenbrechung eine bedeutende Rolle, jedoch nicht ganz in dem Sinne der Schmidtschen Theorie. Man muß erstens Rücksicht nehmen auf die Absorption und Diffusion des Lichts, und zweitens in Erwägung ziehen, daß auf der Sonne die unregelmäßigen Gradienten der Dichte sehr wohl den Strahlenlauf viel stärker beeinflussen können, als der radiale Gradient.

Die folgende einfache, hypothesenfreie Betrachtung ist für das Verständnis vieler Sonnenphänomene wertvoll.

Ein beliebiger Punkt M (Fig. 3) der Sonnenatmosphäre wird von einem Beobachter, der

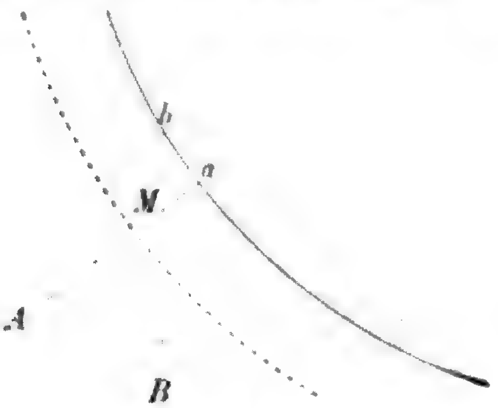


Fig. 3.

sich auf der Linie MA befindet, im Mittelpunkt der Scheibe gesehen; von einem Beobachter auf MB aber nicht weit vom Rande. Dem zweiten Beobachter erscheint das Gebiet um M viel weniger hell als dem ersten. Das beweist, daß M in der Richtung bM viel weniger Licht empfängt als in der Richtung aM. Wie die Bestrahlungsstärke in einem Punkte M für eine gegebene Lichtart mit der Einfallsrichtung variiert, kann man leicht finden, wenn man die mittlere Verteilung des betreffenden Lichts auf der Sonnenscheibe kennt.

In Figur 4 zeigt die Linie PQ die allmähliche Abnahme der Helligkeit vom Mittelpunkte C gegen den Rand R der Sonnenscheibe hin, für Licht von der Wellenlänge 405 bis 412 $\mu\mu$, nach Vogels Tabelle (S. 826). RNC′ sei ein Schnitt der Photosphärenoberfläche, und der Beobachter befinde sich in großer Entfernung auf der Linie CC′. Dann ist klar, daß die mittlere Lichtmenge, die z. B. in N aus der Sonne hervorzutreten scheint, also in einer Richtung, die den Winkel ANB (= NCC′ = φ) mit der Normalen bildet, proportional zur Ordinate mn ist. Wir tragen nun auf dem Radiusvektor CN den Punkt m′ so auf, daß Cm′ = mn, und tun dasselbe bei allen anderen Radien des Schnittes RNC′. Dadurch erhalten wir eine Kurve P′Q′, die die effektive Ausstrahlungsfähigkeit des Sonnenkörpers für die betreffende Lichtart als eine Funktion des Austrittswinkels φ darstellt. Mit Hilfe dieser Figur können wir nun die „Bestrahlungskurve" für einen Punkt M (Fig. 5) in der äußersten

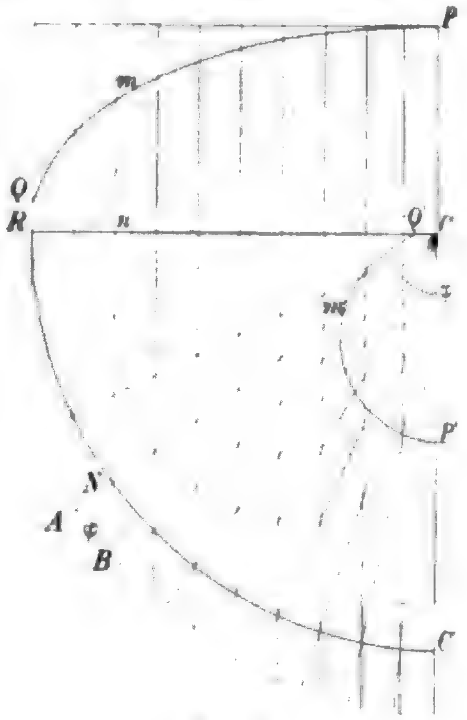


Fig. 4.

Schicht der Sonnenatmosphäre konstruieren. Zu diesem Zwecke brauchen wir nur auf allen Linien MV innerhalb des Winkels HMH′, welche die Photosphäre in einem Winkel φ mit der Normalen schneiden, die zu dem betreffenden Winkel

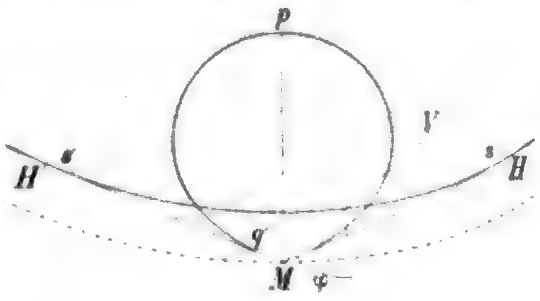


Fig. 5.

φ zugehörige Polarkoordinate der Kurve P′Q′ der Figur 4 aufzutragen. Wenn wir die Enden dieser Vektoren miteinander verbinden, erhalten wir die gesuchte Bestrahlungskurve pq′. Sie weicht von der Kurve Q′P′ nur wenig ab, und würde, wie leicht einzusehen ist, für einen tieferen Punkt der Atmosphäre denselben Charakter beibehalten. Läßt man die Kurve pq′ um pM als Achse rotieren, so erhält man die Bestrahlungsfläche des Punktes M. Die Bestrahlungsfläche wäre eine Kugel sps′, falls die Sonne wie eine glühende Wolkenschicht strahlte.

In obiger Erörterung wurde über die Natur der Photosphäre nichts ausgesagt; sie führt aber zu einer neuen Erklärung dieses Phänomens.

Digitized by Google

Blickt man nach einer Stelle M am Sonnenrande hin, die sich in der Nähe der Photosphäre befindet und sich eben außerhalb der Scheibe projiziert, so sieht man in M sehr wenig Licht wenn bloß der radiale Gradient besteht. Befinden sich dort aber genügend große unregelmäßige Gradienten, so kann Licht, welches entsprechend irgendeinem Radiusvektor der Bestrahlungsfläche die Stelle M erreicht hat, nach uns zu gebogen werden. Dazu muß offenbar der Gradient eine (mit Bezug auf die Photosphäre) vertikale Komponente haben, die mindestens so groß ist, daß der Krümmungsradius eines horizontalen Strahles der Bedingung genügt: $\varrho < r$.

Es ist wahrscheinlich, daß in den der Beobachtung zugänglichen Schichten der Sonne der Durchschnittswert der unregelmäßigen Dichtigkeitsgradienten von außen nach innen zunimmt. Die scharfe Begrenzung der Scheibe könnte nun dadurch zustande kommen, daß in einer gewissen Schicht von weniger als 700 km Dicke schon eine genügende Zunahme jenes Durchschnittswertes stattfindet. „Genügend" wäre eine Zunahme, die zur Folge hätte, daß der mittlere Krümmungsradius ϱ, den die Lichtstrahlen beim Passieren der unregelmäßigen Gradienten aufweisen, von einem sehr großen Werte (z. B. $\varrho > 3r$ in der oberen Schichtgrenze) an, bis etwa zu einem Werte $\varrho < {}^1/_3 r$ (in der unteren Schichtgrenze) abnähme. Dann würde die untere Grenzfläche der Schicht schon ziemlich viel Licht tangential aussenden; und weil die ganze Schicht am Rande nur 1″ dick erscheint, beobachtet man dort einen Helligkeitssprung (dieser Auffassung des Sonnenrandes wird sich weiter unten eine Deutung der Chromosphärenerscheinungen von selbst anschließen).

3c) Absorption, Dispersion und Diffusion. Lichtbrechung findet im allgemeinen statt, wenn in den nacheinander durchstrahlten Teilen des Mediums die betrachtete Lichtsorte sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzt. Jeder homogene Teil hat für die Lichtsorte seinen bestimmten absoluten Brechungsindex $n = \frac{v}{v_n}$ (v = Geschwindigkeit des Lichts in vacuo, v_n = Geschwindigkeit der betreffenden Lichtart im Medium); für verschiedene Wellenlängen sind nun aber v_n und deshalb n ungleich. Die Größe n, als Funktion der Wellenlänge λ betrachtet, nennt man die Dispersion des Mediums; sie hängt nach der herrschenden Lichttheorie mit der Absorption des Lichts im Medium eng zusammen.

Es läßt sich also der ganze Prozeß der Lichtausbreitung durch die ausgedehnten Atmosphären der Himmelskörper nur verstehen auf Grundlage der Theorie der Absorption und Dispersion; wir müssen deshalb im folgenden den Inhalt des Artikels „Lichtdispersion" unbedingt als bekannt voraussetzen. Außerdem ist es notwendig, jener Theorie sogleich eine kleine Erweiterung zu geben, um sie den Verhältnissen sehr großer Gasmassen anzupassen, welche von den gewöhnlichen, experimentellen Verhältnissen in gewisser Hinsicht verschieden sind.

Zunächst erinnern wir an das experimentell ausgiebig bestätigte Hauptgesetz der Dispersion: sie ist in der Nähe der Absorptionslinien anomal (ἀνόμαλος, ungleichmäßig, nicht glatt verlaufend; mit νόμος oder mit normal hat das Wort keine Verwandtschaft); die Funktion $n = f(\lambda)$ hat ein scharfes Maximum auf der nach rot gewendeten Seite und ein scharfes Minimum auf der nach violett gewendeten Seite jeder Absorptionslinie. In linienfreien Teilen des Absorptionsspektrums nimmt n mit abnehmender Wellenlänge allmählich zu: dort ist die Dispersion homal (ὁμαλός, glatt). Diese Bezeichnung ist richtiger als der gebräuchliche Ausdruck „normale Dispersion", weil die anomale und die homale Dispersion beide normal sind und es keine abnorme Dispersion gibt.

Die Anomalie der Dispersion wird in der elektromagnetischen Theorie dem Mitschwingen von Elektronen zugeschrieben. Es findet immer eine Schwächung des einfallenden Lichtbündels statt, indem ein Teil seiner Energie auf die Elektronen des Mediums übertragen wird; und weil die Elektronen diesen Bruchteil nicht immerfort aufspeichern können, sondern in einen stationären Zustand geraten, nimmt man an, diese Energie werde in irgendeiner Weise „verzehrt". Mathematisch drückt man das so aus, daß man in die Bewegungsgleichung des Elektrons ein seiner Geschwindigkeit proportionales Dämpfungsglied $\gamma \frac{dx}{dt}$ (wie eine Reibungskraft) einführt.

Die kleine Erweiterung, welche wir der Theorie geben müssen, besteht nun darin, daß wir den Dämpfungsparameter γ in zwei Teile zerlegen, (vgl. W. H. Julius, Physik. Zeitschrift **12**, 329, 1911), weil die Schwächung des einfallenden Lichts von zwei Ursachen herrührt: Diffusion und Absorption. Diese beeinflussen die Intensität des austretenden Lichtbündels nach ganz verschiedenen Gesetzen, wie aus der folgenden Ueberlegung hervorgeht.

Ein die Gasmasse durchsetzender Wellenzug zwingt den Elektronen erzwungene Schwingungen seiner eigenen Periode auf; diese werden von den Elektronen nach allen Richtungen hin wieder ausgestrahlt: das ist also eine Diffusion des Lichts, wobei die ursprüngliche Wellenlänge ungeändert bleibt.

Das Mitschwingen geschieht aber besonders kräftig, wenn die Periode der einfallenden Wellen der Eigenschwingungsdauer der Elektronen sehr

Digitized by Google

nahe liegt oder gar gleich ist. Dann ist nicht nur die Diffusion sehr stark, sondern es tritt Absorption hinzu, d. h. die heftig resonierenden Elektronen erschüttern die Moleküle durchaus; sie veranlassen Schwingungen anderer Elektronen mit anderen Perioden, und dazu auch ganz ungeordnete Bewegungen.

Während nun der absorbierte Teil der Energie des Wellenzugs demselben unwiederbringlich verloren ist, erhält der Wellenzug von der durch Diffusion entzogenen Energie eine merkliche Menge zurück, namentlich wenn die Lichtquelle sehr groß ist und eine dicke Gasschicht sie umhüllt (vgl. Schuster, Radiation through a foggy atmosphere. Astroph. Journ. 21, 1, 1905). Es sei z die Dicke der homogenen Gasschicht, k der Absorptionskoeffizient, σ der Diffusionskoeffizient, J_0 die Intensität des einfallenden, J die Intensität des austretenden Lichts, so ergibt sich

wenn bloß Absorption stattfindet:

$$J = J_0 e^{-kz},$$

wenn bloß Diffusion stattfindet:

$$J = J_0 \frac{2}{2 + \sigma z}.$$

Mit wachsendem z nimmt also im zweiten Fall J viel langsamer ab als im ersten Fall.

Die Werte von k und σ für verschiedene λ hängen von der Lage der Eigenperioden im Spektrum ab; in deren Nähe sind sie am größten. Man hat Ursache anzunehmen, daß k schon in geringer Entfernung von den Eigenperioden absolut null wird, und daß σ dem gleich zu erwähnenden Rayleighschen Gesetz folgt.

Bei Laboratoriumsversuchen mit kleinen Gasmengen kommt die Diffusion gar nicht in Betracht; in der Sonnenatmosphäre muß sie aber unbedingt eine große Rolle spielen, was man schon daran erkennt, daß bereits in der so viel kleineren Erdatmosphäre das Licht des blauen Himmels von der Diffusion herrührt.

Nach Rayleigh ist $\sigma = \frac{32\pi^3(n-1)^2}{3\lambda^4 . N}$, wo N die Anzahl zerstreuender Moleküle per cm^3 bedeutet. Die Diffusion nimmt also nicht nur mit abnehmender Wellenlänge zu, sondern ist auch stark von der brechenden Kraft n—1 des Mediums abhängig. Zu beiden Seiten einer jeden Absorptionslinie, wo n—1 relativ große absolute Werte besitzt, wird das Licht mehr als in den übrigen Teilen des Spektrums durch Diffusion geschwächt: es gibt dort anomale Diffusion infolge der anomalen Dispersion. Höchstwahrscheinlich ist nur der sehr schmale Kern der Fraunhoferschen Linien auf Absorption zurückzuführen und erblickt man in dem größten Teil der Breite jener Linien eine reine Dispersionswirkung (Julius l. c.).

Mit dem Rayleighschen Diffusionsgesetz muß offenbar auch das Gesetz der mittleren Helligkeitsverteilung für die verschiedenen Lichtarten auf der Sonnenscheibe zusammenhängen. In der Tat kann, in Uebereinstimmung mit der auf Seite 831 erwähnten Erklärung des Sonnenrandes, die Gasmasse unterhalb der Photosphärenfläche sehr wohl noch bis zu einer erheblichen Tiefe durchsichtig sein, unbeschadet der Diffusion. Weil nun das dort unregelmäßig gebrochene Licht, das aus den helleuchtenden tieferen Schichten stammt, durchschnittlich um so längere Wege durch die Photosphärengase zurückgelegt hat, je dichter die Austrittsstelle beim Rand der Scheibe liegt, so folgt, daß von den zentralen Teilen der Scheibe zum Rande hin erstens: die mittlere Lichtstärke wegen der Diffusion abnehmen muß, am wenigsten für rot, stärker für kürzere Wellen, und zweitens: infolge der anomalen Diffusion die Fraunhoferschen Linien sich im allgemeinen verbreitern müssen.

In ganz anderer Weise wird die Verschiedenheit der Intensitätsabnahme nach dem Rande hin für Strahlen verschiedener Wellenlänge von Arrhenius erklärt. Er sagt: die mittlere Temperatur der Schichten, aus welchen die schräg austretenden Strahlen stammen, ist niedriger als die mittlere Temperatur der Schichten, von denen die radial austretenden Strahlen herrühren; und je niedriger die Temperatur, je mehr verschiebt sich das Energiemaximum im Spektrum nach rot. Die Verbreiterung der Fraunhoferschen Linien läßt sich auf diese Weise nicht erklären.

Obige Folgerungen beziehen sich nur auf die Mittelwerte der Intensität; stellenweise aber wird die Krümmung der Lichtstrahlen in den unregelmäßigen Dichtigkeitsgradienten eine Ungleichmäßigkeit in der Lichtverteilung verursachen, eine um so stärkere, je größer die brechende Kraft des Mediums für die betreffende Lichtart ist.

Inwiefern dies alles zutrifft, werden uns erst die mehr ins einzelne gehenden Sonnenbeobachtungen lehren können, zu deren Beschreibung wir jetzt übergehen.

4. Das teleskopische Bild der Sonne. Wie schon anfangs bemerkt, beruht unsere Kenntnis von der Sonne im wesentlichen auf der Deutung von Lichterscheinungen.

Nachdem nun im vorhergehenden fast ausschließlich die Ergebnisse photometrischer und aktinometrischer Messung des mittleren Sonnenlichtes in Betracht gezogen und mit physikalischen Theorien in Zusammenhang gesetzt wurden, werden sich im folgenden das Fernrohr und das Spektroskop als die mächtigsten Waffen zum Eindringen in tiefere Geheimnisse zeigen.

4a) Sonnenflecken. Sogar die augenfälligsten Einzelheiten auf der Sonnenscheibe, die Flecken, sind mit bloßem Auge so schwer zu sehen, daß man aus der Zeit vor der Erfindung des Fernrohrs nur einige

Digitized by Google

zweifelhafte Vermutungen über die Existenz solcher Gebilde vorfindet. Sie wurden damals für Planeten gehalten; anfangs auch von Galilei, der seit 1610 das Fernrohr benutzte. Später erkannte Galilei die solare Natur der Flecken aus deren Bewegung, weil diese als herrührend von einer Rotation der Sonne (in ungefähr 25 Tagen) aufgefaßt werden konnte, falls man die Flecken als Objekte auf der Oberfläche deutete. Was nun aber ein Sonnenfleck eigentlich ist, darüber gehen auch heutzutage die Meinungen noch weit auseinander. Haupteigenschaften dieser Gebilde sind:

1. Veränderlichkeit der Form und ungleiche Lebensdauer. Einige vergehen schon wenige Stunden nach ihrer Bildung, andere bestehen mehrere Monate lang; die mittlere Lebensdauer eines großen Fleckens beträgt nach Cortie etwa 2 Monate.

2. Meistens haben sie unregelmäßige Gestalt, besonders wenn sie in Gruppen vorkommen, was gewöhnlich der Fall ist. Figur 6 zeigt einen typischen Sonnenflecken nach einer Aufnahme von A. Hansky. Sehr oft ist in einer Gruppe der westliche (vorangehende) Fleck der größere. Alleinstehende Flecken nähern sich mehr oder weniger der Kreisform, sind stabiler als Gruppenglieder, und zeigen am deutlichsten die charakteristischen Teile: Kernschatten (Umbra) und Halbschatten (Penumbra). Bisweilen enthält eine Penumbra mehrere Umbrae. Viele Flecken sehen aus als wären sie trichterförmige Vertiefungen in perspektivischem Anblick (A. Wilson); wegen der großen Zahl widersprechender Beobachtungen ist es jedoch nicht möglich, sie ohne weiteres für Einsenkungen in der Photosphäre zu halten.

3. Das Vorkommen der Flecken ist im wesentlichen auf zwei Zonen beschränkt (nämlich zwischen dem 10. und 30. Breitegrad nördlich und südlich vom Aequator; in Figur 7 sind alle von Stefani im Jahre 1906 gemachten Fleckenbeobachtungen zusammengestellt). Außer der gemeinschaftlichen Rotation um die Sonnenachse zeigen die Flecken auch individuelle Bewegungen

Fig. 6. Sonnenflecken. Aufgenommen von Hansky, 16. Juli 1905.

Digitized by Google

(scheinbare Abstoßung der Glieder einer Gruppe; Voraneilen neu gebildeter Flecken;

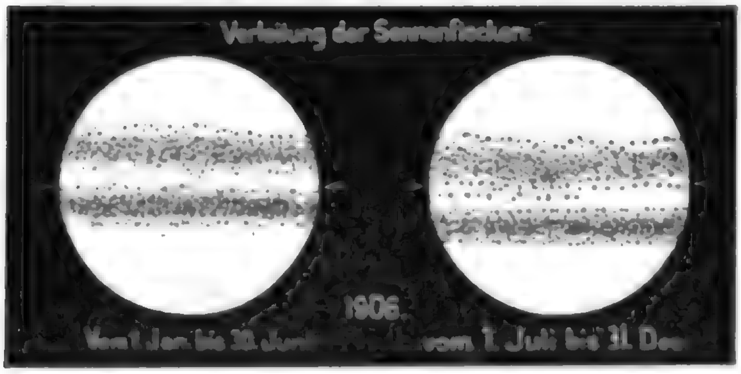


Fig. 7.

aber mit vielen Ausnahmen und ganz unregelmäßig). Die mittlere Rotationsgeschwindigkeit nimmt vom Aequator nach den Polen hin ab. Am Aequator beträgt sie 14°,4 pro Tag, in 30° Breite 13°,7 pro Tag.

4. Die Bildung eines Fleckens erfordert manchmal bloß einige Stunden, manchmal mehrere Tage oder Wochen. Höchst merkwürdig ist die von Stefani gemachte Beobachtung, daß von den größeren Flecken durchschnittlich mehr als 90% auf der von der Erde abgewendeten Sonnenhälfte entstehen, weniger als 10% auf der uns zugekehrten Sonnenseite (Astronom. Nachr. Nr. 4523, 1911). Und Mrs. Maunder gelangt zu dem bedeutungsvollen Ergebnis, daß auf der östlichen Hälfte der Sonnenscheibe viel mehr Flecken als auf der westlichen Hälfte erscheinen (Monthly Notices Roy. Astr. Soc. **67**, 451, 1907). Wo ein Fleck sich bildet, zeigt immer die Photosphäre schon vorher lebhafte Bewegung, schnell wechselnde hellere und dunklere Stellen; eine der letzteren, die als „Poren" bezeichnet werden, breitet sich aus und wird zum Kernschatten, den bald ein Halbschatten umgibt. Die Grenze zwischen Umbra und Penumbra pflegt schärfer zu sein als die äußere Begrenzung der Penumbra. Nach einer Periode relativer Ruhe wird die Auflösung des Fleckens oft eingeleitet durch das Vorschießen heller Zungen aus der Penumbra in die Umbra, und deren Vereinigung zu „Lichtbrücken", dann spaltet sich bisweilen der Fleck in zwei oder mehr Teile, oder wird von dem Photosphärenlicht allmählich gleichsam überdeckt.

5. Zahl und Größe der Flecken unterliegen sehr unregelmäßigen Schwankungen; wenn man aber Jahresmittel bildet, so stellt sich heraus, daß die Durchschnittszahlen regelmäßig steigen und sinken (Schwabe, Wolf) in einer (etwas veränderlichen) elfjährigen Periode, deren mittlere Länge von Wolfer zu 11,124 Jahren angegeben wird. Die mittlere heliographische Breite der Flecken ändert sich in derselben Periode. Näheres über die Periodizität findet man im letzten Abschnitt, 7d.

4b) Sonnenfackeln. Als Gegenstücke zu den dunklen Flecken zeigt das Bild der Sonnenscheibe auch Stellen, wo die Helligkeit merklich größer als in ihrer Umgebung ist: Sonnenfackeln (Faculae). Die Ausdehnung der Fackeln ist immer viel größer, ihre Gestalt unregelmäßiger als die der Flecken; ihr Helligkeitsunterschied gegen die übrige Photosphäre aber ist in den zentralen Teilen der Scheibe sehr gering und nimmt nach dem Rande hin stark zu. Das Vorkommen der Fackeln ist nicht auf besondere Zonen beschränkt; jedoch trifft man sie am häufigsten in den Fleckenzonen an, und zwar besonders in der nächsten Umgebung von Flecken.

Man hat die Fackeln als Erhöhungen der Photosphäre zu deuten versucht; sie sollten dann nahe dem Sonnenrande deshalb heller hervortreten, weil die absorbierende Atmosphäre, auf deren Wirkung man die allgemeine Helligkeitsabnahme nach dem Rande hin zurückführte (siehe S. 826), über den Fackeln dünner sei. Zugleich mit jener Erklärung der Helligkeitsabnahme, deren Unhaltbarkeit erwiesen ist, wird aber auch diese (ohnehin schon unklare) Deutung der Fackeln hinfällig. Verständlicher ist das Phänomen der Faculae, wenn man es als eine Refraktionserscheinung auffaßt.

Gesetzt, man blicke in der Richtung MV (Fig. 5, S. 830) von außen her nach einem Punkt M hin, der in der Nähe der Photosphärenfläche (sei es außerhalb oder innerhalb derselben) liegen soll. Befinden sich nun in M unregelmäßige Dichtigkeitsgradienten, wodurch die uns treffenden Lichtstrahlen derart gekrümmt werden, daß sie nicht aus der Richtung VM, sondern aus benachbarten Richtungen V'M herstammen, so zeigt uns die Gestalt der Bestrahlungsfläche pq, daß die Intensität des beobachteten Lichtes mit der Richtung von V'M stark wechseln muß, und zwar um so stärker, je mehr sich der Winkel VMp dem Winkel HMp nähert, d. h. je näher die anvisierte Stelle dem Rande der Sonnenscheibe liegt. Die Fackeln sind nun nach dieser Auffassung Gebiete, wo die Dichte der Photosphärengase in größerem Maßstabe als sonstwo variiert. Befindet sich ein solches Gebiet in der Mitte der Scheibe, so wechselt die Intensität des hindurchtretenden Lichtes wenig mit der Richtung, und die Fackel hebt sich also kaum vom Hintergrund ab. Befindet es sich aber unweit vom Rande, so müssen, bei gleichgroßer mittlerer Strahlkrümmung, stärkere Lichtkontraste entstehen, also helle Gebilde auf dunklem Grunde auftreten.

Digitized by Google

Immerhin ist es möglich daß den besonderen Bewegungszuständen in den Fackelregionen auch eine höhere Temperatur entspricht, wie von vielen Astrophysikern angenommen wird.

4c) Granulation. Wendet man starke Vergrößerung an, so zeigt die ganze Sonnenscheibe eine körnige Struktur, die sogenannte Granulation (sichtbar in Fig. 6), ein fortwährend sich veränderndes Bild von hellen Fleckchen auf weniger hellem Grunde. Nach Chevalier sind die Körner von der Größenordnung 1″ bis 3″, und kann man auf photographischen Aufnahmen, die 1 oder 2 Minuten nacheinander gemacht wurden, die meisten Körner noch wiedererkennen, aber nach 10 Minuten ist alles vollständig verändert. Das deutet auf Geschwindigkeiten von einigen (Hansky hat aus direkten Messungen 3,7 gefunden) Kilometern pro Sekunde, die also mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Druckwellen in hochtemperierten Gasen vergleichbar sind.

Wie man demnach die Granulation als eine Folge der Lichtbrechung in fortschreitenden Verdichtungen und Verdünnungen auffassen kann, bedarf jetzt keiner weiteren Erörterung. Wir kommen im letzten Abschnitt darauf zurück.

4d) Fleckentheorien. Der vielen älteren Theorien über den Ursprung der Sonnenflecken können wir nur ganz kurz gedenken. Einige Forscher schreiben die Flecken der Bildung von Schlacken im Flusse zu (Zöllner, Respighi); andere erklären sie als den Effekt absteigender Ströme gekühlter Gase oder Eruptionsprodukte (Kirchhoff, Secchi, Young, Oppolzer); nach Faye sollen sie Wirbel in der Sonnenatmosphäre sein, welche die stark absorbierenden Gase der oberen Schichten einschlürfen und deshalb dunkel erscheinen. Durch Hales Entdeckung eines magnetischen Feldes in den Flecken hat die Wirbelhypothese neuerdings an Wahrscheinlichkeit gewonnen vgl. S. 844.

Auf breiter physikalischer Grundlage schön durchgebildet ist die Theorie von Emden („Gaskugeln" S. 429 bis 448, siehe Literatur). Infolge von Ausstrahlung kühlen sich die äußeren Schichten der (gasförmig gedachten) Sonne am schnellsten ab; sie sinken nach innen und werden durch aufsteigende, heißere Gase ersetzt, so daß, wenn die Sonne nicht rotierte, wir nur radiale Konvektionsströme erwarten könnten. Die Rotation der Sonne verändert jedoch diese Bewegungsform vollständig; die Winkelgeschwindigkeit der absteigenden Massen nimmt zu, während die der aufsteigenden Massen abnimmt: man kann so nebeneinander Gasschichten von verschiedener Dichte antreffen, die mit verschiedener Geschwindigkeit rotieren und durch sogenannte „Unstetigkeitsflächen" getrennt sind.

Figur 8 ist ein Meridianschnitt durch das aus den Rechnungen sich ergebende System von Unstetigkeitsflächen (der Kreis stellt die scheinbare Oberfläche der Sonne dar. Emden selbst zeichnet und betrachtet nur den Zustand innerhalb der Photosphäre). In jeder ringförmigen Schicht, die von zwei solchen Flächen begrenzt ist, ändert sich die Rotationsgeschwindigkeit mit der Entfernung von der Achse NS kontinuierlich; aber an den Grenzflächen ändert sie sich mit einem Sprung.

Demzufolge bilden sich in den Unstetigkeitsflächen Wellen aus, die Wellen werden steiler, hängen über und rollen sich (wie in der Brandung) zu Wirbeln auf, deren Achsen so liegen wie es die Kurven in Figur 8 andeuten. An jeder Unstetigkeitsfläche ist der Geschwindigkeitssprung um so größer, je geringer die Entfernung zwischen dem betrachteten Punkt und der Sonnenachse ist. Deshalb fängt meistens die Wirbelbildung in der Tiefe an und schreitet nach außen hin fort. Wo sie das Niveau der Photosphäre erreicht, zeigt sich nach Emden ein Sonnenfleck.

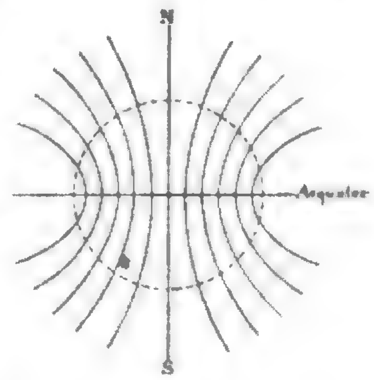


Fig. 8.

Die Durchführung der hier nur kurz skizzierten Theorie ergibt eine natürliche Erklärung fast aller derjenigen Eigenschaften der Flecken, welche sich auf ihre Entstehungsorte, Bewegungen und Entwickelungsstadien beziehen. Um außerdem die optischen Hauptmerkmale (die Dunkelheit des ziemlich scharf begrenzten Kernschattens, den radial-faserigen Halbschatten und viele Eigentümlichkeiten des Fleckenspektrums) zu verstehen, brauchen wir nur noch die Brechung der Lichtstrahlen in solchen Wirbeln zu berücksichtigen (Julius).

In dem Zirkulationsgebiet, das eine wirbelnde Gasmasse stets umgibt, nimmt die Dichte nach innen allmählich ab und zwar mit zunehmendem Gefälle, bis an den Wirbelfaden. Letzterer kann, weil das Medium nicht reibungslos ist, endliche Länge haben. Also wächst die Dichte von einem Minimum aus nach allen Seiten hin, mit abnehmendem Gradienten. Die Gestalt des Zirkulationsgebietes kann sehr verschieden sein; nehmen wir einstweilen an, sie sei etwa kugelförmig (wir lassen also die Orientierung

Digitized by Google

der Wirbelachsen vorläufig unbestimmt). Ein solches Gebilde befinde sich nun irgendwo in der Nähe der Photosphärenfläche S S′ (Fig. 9). Unter den auf den Beobachter zu gerichteten Strahlen haben die,

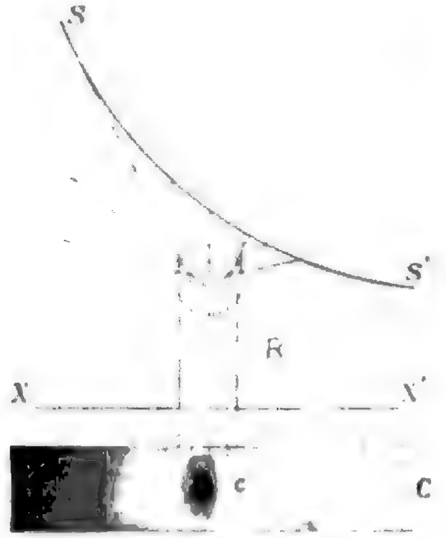


Fig. 9.

welche die innersten Teile des Zirkulationsgebietes (also die Gegend steilster Gradienten) passierten, die größte Richtungsänderung erfahren. Weiter vom Kern wird die Ablenkung des Lichtes immer kleiner. Man erkennt nun leicht, daß es eine gewisse Gruppe von Strahlen gibt, die aus dem Raume außerhalb der Photosphäre kommen und deshalb die Umbra hervorbringen. Daran schließen sich ringsum andere Strahlen, welche mehr oder weniger schief aus der Photosphäre herausgetreten sind; sie bilden die Penumbra. Liegt das betrachtete Gebiet, wie in der Figur, exzentrisch vor der Scheibe, so müssen sich auch Stellen (c) vorfinden, wo die Intensität größer als die mittlere der Umgebung ist, also Fackeln. In dem Maße wie das Gebiet sich dem Rande der Scheibe nähert, erfolgt quasi-perspektivische Verkürzung des Fleckens. Alles dies erkennt man leicht, wenn man sich die „Bestrahlungsfläche" (siehe S. 830) der verschiedenen Punkte des Gebietes vorstellt und dabei die Anordnung der Dichtigkeitsgradienten berücksichtigt. Die Grenze zwischen Umbra und Penumbra ist ein verzerrtes Bild des Sonnenhorizontes, und deshalb ziemlich scharf. Druckwellen in der zirkulierenden Gasmasse veranlassen periodische Dichteschwankungen, deren dioptrische Wirkung die radialfaserige Struktur der Penumbra erklären kann. Auch die rasche Bildung von Lichtbrücken und andere eruptionsartige Erscheinungen lassen sich leicht als Brechungseffekte deuten; man wird dadurch der schwierigen Annahme unglaublich schneller Bewegungen von Gasmassen enthoben. Allerdings verdient eine andere Auffassung, welche diese eruptions- und flammenartigen Phänomene nordlichtähnlichen elektrischen Entladungen zuschreibt, daneben auch volle Beachtung.

Die Deutung der Sonnenflecken als Refraktionserscheinung in Wirbelgebieten gewährt außerdem Anhaltspunkte zur Erklärung der S. 834 erwähnten, sonst rätselhaften Ergebnisse von Stefani und Mrs. Maunder.

Im allgemeinen müssen ja die Wirbelgebiete eher länglich als sphärisch sein, und man wird in ihnen um so stärkere Brechungseffekte beobachten, je kleiner der Winkel zwischen der Längsachse des Gebietes und dem Visionsradius ist. Indem nun bei der Achsendrehung der Sonne die oberen Schichten den unteren voraneilen (Adams, Pérot), stellen sich die Wirbelachsen derart schief gegen die Meridianebenen, daß sie in der östlichen Sonnenhälfte durchschnittlich kleinere Winkel mit dem Visionsradius bilden als in der westlichen Sonnenhälfte. Dementsprechend sind die Erscheinungsbedingungen eines Fleckens in der östlichen Hälfte günstiger als in der westlichen Hälfte.

Das Fleckenspektrum und die elfjährige Periode werden wir weiter unten besprechen.

4e) **Totale Sonnenfinsternisse. Korona.** Teile der Sonne, die sich außerhalb der Photosphärenfläche befinden, hat man zuerst nur bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet. Das sind sehr seltene Ereignisse. In einer Periode von 18 Jahren 11 Tagen (Saros genannt) treten nur 13 solche Finsternisse ein; ihre Sichtbarkeit ist immer auf einen kleinen, bisweilen dazu noch schwer zugänglichen Teil der Erde beschränkt, und ihre Dauer schwankt zwischen 0 und 7 Minuten. Sobald der Mond die Sonnenscheibe verdeckt, ist nicht bloß der Beobachtungsort, sondern zugleich fast der ganze dort sichtbare Teil der Erdatmosphäre gegen das helle Sonnenlicht geschützt: der Himmel erscheint bisweilen so dunkel, daß man Sterne erblickt. Wunderschön aber glänzt in dieser kurzen Nacht die Umgebung des schwarzen Mondes. Eine silberweiße Strahlenkrone phantastischer Gestalt, die Korona, heller leuchtend als der Vollmond, reicht mit nach außen schnell abnehmender Lichtstärke bis in Entfernungen, die in einigen Richtungen die Länge des Monddurchmessers weit übertreffen. Fig. 10 zeigt eine photographische Aufnahme der Korona vom Jahre 1901. Wegen des großen Intensitätsunterschieds zwischen den inneren und äußeren Teilen der Korona ist der visuelle Eindruck, den die ganze Erscheinung hervorruft, nicht mittels einer einzigen Photographie erhältlich. Deshalb wurde noch ein von Nyland herrührendes, aus 39 Zeichnungen zusammengestelltes Bild der Korona desselben Jahres beigefügt (Fig. 11). Die Struktur der Korona ist faserig, büschelartig; Lage und Ausdehnung ihrer (in der

Digitized by Google

Regel gekrümmten) Strahlenbüschel sind aber bei jeder Finsternis anders als bei der vorhergehenden. Zur Zeit des Fleckenminimums scheint die Korona im allgemeinen besonders ausgedehnt in der Richtung des Aequators zu sein und zeigt fächerförmige Büschel an den Polen; in fleckenreichen Jahren dagegen ist sie am Aequator und an den Polen schwächer, hat aber stärkere unregelmäßige Ausläufer nach vielen anderen Richtungen hin. Nach einigen spärlichen Beobachtungen soll die Korona schneller als die Photosphäre um die Sonnenachse rotieren. Man hat versucht, die Korona außerhalb der totalen Sonnenfinsternisse, am hellen Tage, in irgendeiner Weise wahrnehmbar zu machen; bis heute aber ohne sicheren Erfolg. Die photographische Flächenhelligkeit sogar der inneren Korona ist ja nur $^1/_{500}$ von der des Himmels in der Entfernung 1° von der nicht verfinsterten Sonne. Ansichten über die Natur der Korona werden wir nachher, im Zusammenhang mit spektroskopischen Phänomenen, kurz besprechen.

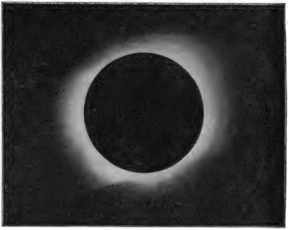


Fig. 10. Korona 1901. Nach einer Aufnahme von Campell.

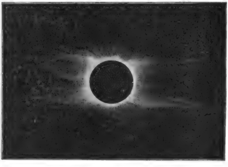


Fig. 11. Korona 1901. Aus Zeichnungen zusammengesetzt von Nyland.

4f) Chromosphäre und Protuberanzen. Gegen die Strahlenkrone hebt sich an ihrem inneren Rande ein anderes, noch helleres Gebilde, die Chromosphäre, stark ab (Fig. 12). Es ist ein Kranz rötlichen Lichtes, der die Sonnenscheibe eng umschließt. Aus ihm treten an manchen Stellen rote Erhebungen wie verworrene Feuerstrahlen oder glühende Wolken hervor, die Protuberanzen (Fig. 13), und bei starker Vergrößerung sieht die ganze Chromosphäre aus als wäre sie ein Gewirre spitzer Flammen.

Nachdem man diese Erscheinungen in den Jahren 1842 bis 1868 nur während einiger totalen Sonnenfinsternisse mit Hilfe des Fernrohrs (auch photographisch) hatte studieren können, brachte das letztgenannte Jahr einen großen Fortschritt durch die Entdeckung, daß das Spektrum der Protuberanzen und der Chromosphäre aus nur wenigen hellen Linien besteht, und daß es möglich ist, zu jeder Tageszeit, auch ohne Finsternis, das Studium jener merkwürdigen Gebilde fortzusetzen. Janssen und Lockyer kamen nämlich unabhängig vonein-

Digitized by Google

ander auf den Gedanken, den kontinuierlichen Grund des Spektrums der nächsten Sonnenumgebung (das Licht des hellen Himmels) durch Anwendung großer Dispersion stark zu schwächen; die monochromatischen Protuberanzbilder erlitten diese Schwächung nicht und zeichneten sich hell auf weniger hellem Grunde ab.

Auf mehreren Sternwarten (Rom, Catania, Zürich, Kalocsa) werden jetzt womöglich täglich Protuberanzenbeobachtungen durchgeführt und statistisch verarbeitet.

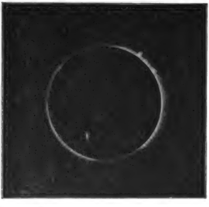


Fig. 12. Chromosphäre. Sonnenfinsternis 1900.

Fig. 13. Protuberanzen. Aufgenommen während der Sonnenfinsternis von 1900.

4g) Erklärungen dieser Gebilde. Lange Zeit schien die Deutung des Linienspektrums der Chromosphäre und der Protuberanzen als ein Emissionsspektrum glühender Gase die einzig mögliche. Man betrachtete also die unmittelbar beobachteten schnellen Gestaltsveränderungen der Protuberanzen als ein sicheres Zeichen dafür, daß gewaltige Eruptionen stattfanden, wobei ausgedehnte Massen Wasserstoff, Helium und Kalziumdampf mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Kilometern in der Sekunde durch die Koronamaterie hindurch emporgeschleudert wurden. Rätselhaft blieb immerhin die Natur der erforderlichen Triebkräfte, ganz besonders in solchen Fällen, wo sich eine launenhaft veränderliche Geschwindigkeit des Aufstiegs ergab (bei einer Protuberanz vom 6. Oktober 1890 z. B. ging die Geschwindigkeit in der Zeit von 30 Minuten durch die Werte 33,8, 79,8, 67,6, 72,7, 127,7, 275,5, 242,3, 121, 57,3 km pro Sekunde hindurch). Unter den vielen schwerverständlichen Schlußfolgerungen, zu welchen die besagte Deutung führte, sei noch erwähnt, daß man den Eruptionsprodukten bisweilen horizontale Geschwindigkeiten von mehr als 500 km (nach Dopplers Prinzip berechnet) in der Richtung des Parallelkreises zuschreiben mußte, während im Sonnenmeridian fast nie horizontale Bewegungen schneller als 25 km in der Sekunde beobachtet wurden. Und einerseits erscheinen die fabelhaften Bewegungen und das rasche Verschwinden mancher Protuberanzen nur möglich im leeren Raume, andererseits verlangen die ruhig hochschwebenden, oft stundenlang unveränderten Protuberanzen ein Medium, das sie einschließt und trägt (Fényi).

Diese Widersprüche lösen sich, wenn man den außerhalb der Photosphärenfläche sich befindenden Teilen des Gasgemisches eine relativ nur schwache Eigenstrahlung zueignet und das Licht von Chromosphäre und Protuberanzen wesentlich als Photosphärenlicht deutet, das in den Wellen und Wirbeln der Unstetigkeitsflächen gebrochen ist. Bei der Erklärung des Sonnenrandes (S. 831) haben wir nur die Brechung des mittleren Sonnenlichts in den unregelmäßigen Dichtegradienten in Betracht gezogen; jetzt aber interessieren uns besonders die Lichtarten, welche den Absorptionslinien zu beiden Seiten ganz nahe liegen. Wegen der ano-

Digitized by Google

malen Dispersion werden diese in den gleichen Dichtegefällen viel stärker als die übrigen Lichtarten abgelenkt, während in den durchschnittlich kleineren Gradienten des Gebietes außerhalb der Photosphäre die Ablenkungen der anomal dispergierten Strahlen noch groß genug sind, um ausgewähltes Photosphärenlicht in der Umgebung der Sonnenscheibe erscheinen zu lassen.

Was wir als Chromosphärenlicht erblicken, ist nach dieser Auffassung eben das Licht, das wegen anomaler Diffusion und Refraktion in den Fraunhoferschen Linien des Spektrums der Scheibe fehlt. So erklärt sich das beim Anfang und Ende totaler Sonnenfinsternisse beobachtete Blitz- oder Flashspektrum (Young, 1870), in welchem fast jeder Fraunhoferschen Linie eine helle Linie auf dunklem Grunde zu entsprechen scheint (die ältere Theorie, welche bloß Emission und Absorption in Betracht zieht, schreibt dieses Spektrum ganz der Eigenstrahlung einer dünnen „umkehrenden Schicht" zu, die entsprechend einem bekannten Versuche Kirchhoffs die Fraunhoferschen Linien hervorrufen soll). Weiter vom Sonnenrande reichen nur die Dichtegradienten der Hauptbestandteile des Gasgemisches dazu aus, genügende Ablenkungen der Lichtstrahlen zu verursachen; deshalb besteht das Spektrum der höheren Chromosphärenschichten und der meisten Protuberanzen aus weniger Linien.

Durch die fadenförmigen Elemente des Chromosphärengewebes werden die Stellen größten Dichtegefälles, also namentlich solche Gebiete, wo Wirbelbewegung stattfindet, angezeigt. Wo in Wirbelkernen besonders steile Gradienten auftreten, kann sich die seltenere Erscheinung der weißen Protuberanzen zeigen, indem sogar das mittlere Sonnenlicht dort genügend gebrochen wird (Deslandres aber erklärt die weißen Stellen aus der Anwesenheit fester Partikelchen). Weil das Einsetzen der Wirbelbildung je nach den örtlichen Verhältnissen in der Gasmasse bald hier, bald dort erfolgt (obwohl in der Regel nach außen hin fortschreitend, vgl. Fig. 8, S. 835), findet das allmähliche Aufleuchten verschiedener Stellen oft in sonderbarer Zeit- und Reihenfolge statt; es würden sich unerklärliche „Geschwindigkeiten" ergeben, falls man das Phänomen als Ortsveränderungen selbstleuchtender Gebilde deuten wollte. Einer solchen schwierigen Deutung ist man aber auch deshalb enthoben, weil die Spektralerscheinungen (siehe den folgenden Abschnitt), aus denen man auf ebenso gewaltige Protuberanzenbewegungen im Visionsradius geschlossen hatte, gleichfalls durch anomale Dispersion hervorgerufen sein können.

Protuberanzen erscheinen selten, wo ein Sonnenfleck im Entstehen begriffen ist (wo also ein größeres Wirbelgebiet eben, aus dem Innern, die Photosphärenfläche erreicht), oft in der Nähe verschwindender Flecken (d. h. wo die Wirbel nach außen hin fortschreiten).

5. Spektroskopie der Sonne. 5a) Das Spektrum der Gesamtstrahlung. Allgemeines über die spektroskopischen Methoden, über die Einteilung der Spektra in kontinuierliche, diskontinuierliche, Emissions-, Absorptionsspektra usw. soll hier nicht erörtert werden (vgl. darüber den Artikel „Spektroskopie"). Wir wollen zunächst das mittlere, gemischte Sonnenlicht, ohne Rücksicht auf dessen verschiedene Herkunft, spektroskopisch untersuchen.

Nur ein Teil der Gesamtstrahlung gehört dem sichtbaren Spektrum an, wie aus Figur 14 ersichtlich ist, wo die Energieverteilung im Normalspektrum nach bolographischen Messungen Langleys (1881) sehr roh wiedergegeben ist. Die Wellenlängen sind in Hunderstel Mikron eingetragen. Im Jahr 1900 hat Langley infrarote Sonnenstrahlung bis 5,3 μ beobachtet. Auf den ursprünglichen Bologrammen erkennt man im Infrarot mehr als 750 Fraunhofersche Linien, von denen einige der auffallendsten durch die Kohlensäure und den Wasserdampf der Erdatmosphäre hervorgerufen sind. Den spektrobolometrischen Untersuchungen kommt eine

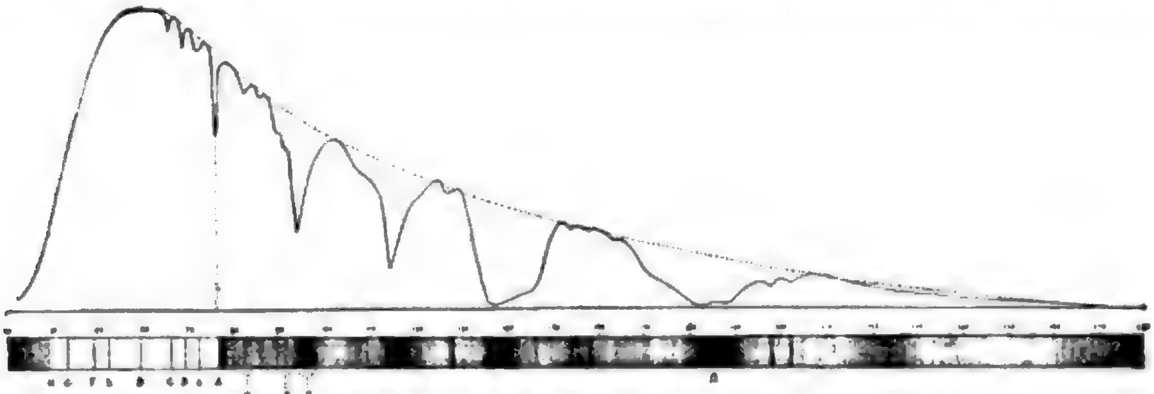


Fig. 14. Energieverteilung im Normalspektrum. Langley, 1881.

große Bedeutung bei der Bestimmung der Solarkonstante zu (vgl. 2b) (Abbot).

Bequemer zu beobachten, also besser bekannt als das Infrarot, sind der sichtbare und der ultraviolette Teil des Sonnenspektrums. Mit der glänzenden Entdeckung von Kirchhoff und Bunsen (1860), daß die Fraunhoferschen Linien über die chemische Zusammensetzung der Sonne und anderer Gestirne sichere Auskunft geben, fängt der Aufschwung der Astrophysik an. Die ersten Untersuchungen bezweckten natürlich eine Beantwortung der Frage, welche Elemente sich in der Sonnenatmosphäre vorfinden. Rowland gibt folgendes vorläufige Verzeichnis:

Nach der Intensität der Linien im Sonnenspektrum geordnet: Ca, Fe, H, Na, Ni, Mg, Co, Si, Al, Ti, Cr, Mn, Sr, V, Ba, C, Sc, Yt, Zr, Mo, La, Nb, Pd, Nd, Cu, Zn, Cd, Ce, Be, Ge, Rh, Ag, Sn, Pb, Er, K.

Nach der Zahl der Linien im Sonnenspektrum geordnet: Fe (2000), Ni, Ti, Mn, Cr, Co, C (200), V, Zr, Ce, Ca (75), Sc, Nd, La, Yt, Nb, Mo, Pd, Mg (20), Na (11), Si, Sr, Ba, Al (4), Cd, Rh, Er, Zn, Cu (2), Ag, Be, Ge, Sn, Pb (1), K.

Zweifelhaft vorhanden seien Linien von: Ir, Os, Pt, Ru, Ta, Th, W, U.

Nicht im Sonnenspektrum gefunden seien die Linien von: Sb, As, Bi, B, N, Cs, Au, In, Hg, P, Rb, Se, S, Tl, Pr.

Das Fehlen von Linien eines Elementes in dem Spektrum des Gasgemisches ist aber kein Beweis dafür, daß dieses Element in dem Gemische fehlt. Ferner enthält das Sonnenspektrum noch eine große Zahl von bis heute nicht identifizierten Linien; zum Teil gehören diese vielleicht uns unbekannten Elementen an, zum Teil aber auch schon bekannten Elementen in unbekannten Erregungszuständen — man denke an Versuche von Lockyer, Lenard, Stark.

Einige Linien des Sonnenspektrums sind tellurischen Ursprungs; sie lassen sich nach verschiedenen Methoden erkennen (Janssen, Cornu).

5b) Linienverschiebungen und ihre Ursachen. Durch die modernen Methoden der Interferenzspektroskopie kann man die Wellenlängen genügend homogener Linien mit einer Genauigkeit von etwa 0,001 Ångströmscher Einheit bestimmen; und bei der Beurteilung von Koinzidenzen zwischen Fraunhoferschen Linien und Emissionslinien gestattet schon ein gutes Gitter, fast die gleiche Genauigkeit zu erzielen.

Da hat sich nun neuerdings herausgestellt, daß die Fraunhoferschen Linien des durchschnittlichen Sonnenspektrums im allgemeinen nicht mit den entsprechenden Linien des Bogen- oder Funkenspektrums zusammenfallen, sondern nach rot verschoben sind, um Beträge, die für die verschiedenen Linien zwischen 0,000 und 0,010 Å variieren. Linienverschiebungen in den Spektren einzelner Teile des Sonnenbildes waren schon längst bekannt und auf Grund des Dopplerschen Prinzips interpretiert; die allgemeine einseitige Verschiebung aber erschien sonderbar.

Man kennt gegenwärtig 5 Ursachen, wodurch Linien des Sonnenspektrums gegen die entsprechenden irdischen Emissionslinien verschoben sein können: α) Bewegung der Lichtquelle, des Beobachters oder des Mediums (Doppler, 1842, W. A. Michelson, 1901); β) Druck (Humphreys und Mohler, 1896); γ) Magnetfelder (Zeeman, 1896); δ) anomale Dispersion (Julius, 1900); ε) Gravitationspotential (Einstein, 1911).

α) Es sei c die Lichtgeschwindigkeit, $v = -\frac{dl}{dt}$ die Geschwindigkeit, mit der die Entfernung Lichtquelle—Beobachter abnimmt, so ist nach dem Dopplerschen Prinzip (wenn v klein ist gegen c) die beobachtete Wellenlänge:

$$\lambda' = \lambda\left(1 - \frac{v}{c}\right) = \lambda\left(1 + \frac{1}{c}\cdot\frac{dl}{dt}\right).$$

Wäre z. B. $\lambda = 6000$ Å, $v = 1$ km pro Sek., so würde die Verschiebung $\lambda' - \lambda = -0{,}02$ Å betragen. Michelson hat darauf aufmerksam gemacht, daß nicht die geometrische, sondern die optische Entfernung maßgebend ist. Auch wenn Lichtquelle und Beobachter am Platze bleiben, kann die optische Entfernung sich ändern, z. B. dadurch, daß ein dichteres Medium prismatischer Gestalt mit der Geschwindigkeit v′ längs der Halbierenden des Brechungswinkels sich quer in das Strahlenbündel hineinschiebt. Dann ist (falls der Strahlengang durch das Prisma symmetrisch ist und D die Minimalablenkung bedeutet):

$$\lambda' = \lambda\left(1 + \frac{2v'}{c}\sin \tfrac{1}{2} D\right).$$

β) Erzeugt man das Lichtbogenspektrum verschiedener Elemente in einem Raume, wo der Druck variiert werden kann, so zeigen die meisten Linien dem Druck proportionale Verschiebungen nach der roten Seite hin, deren Größe aber für die verschiedenen Elemente und auch für verschiedene Linien desselben Elementes ungleich ist; sie wechselt zwischen 0,001 und 0,013 Å pro Atmosphäre Ueberdruck (Humphreys, Duffield, King).

γ) Befindet sich ein strahlendes oder absorbierendes Gas in einem Magnetfelde, so zerfallen seine Spektrallinien bekanntlich in zwei, drei oder mehr Komponenten, die zwar nahe symmetrisch liegen, aber verschieden polarisiert sind und deswegen unter gewissen Beobachtungsverhältnissen asymmetrische Effekte, also Verschiebungen, hervorbringen können. Die Größenordnung der Spaltungen ist etwa 0,03 Å für 1000 Gauß.

δ) Die anomale Dispersion verursacht Linienverschiebungen, die zum Teil auf Brechung, zum Teil auf Diffusion beruhen. Das ist aus

Digitized by Google

Figur 15 ersichtlich (vgl. Julius, Physik. Zeitschr. 12, 337 und 676). R ist die Dispersionskurve in der Nähe einer Absorptionslinie. Ihre

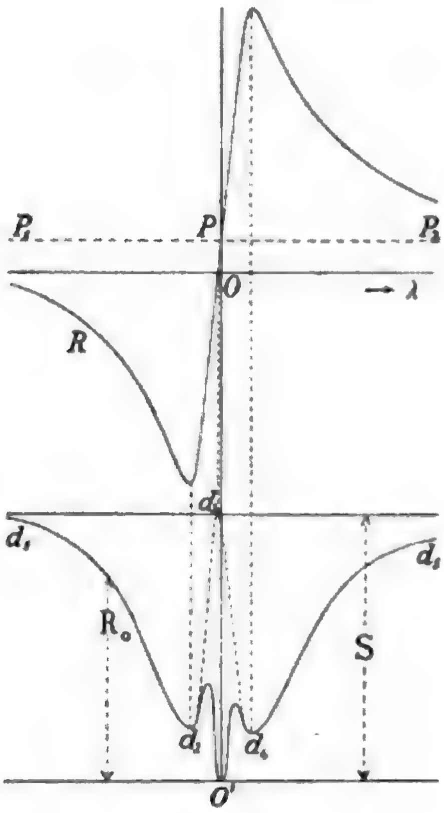


Fig. 15.

Ordinaten stellen für jede Wellenlänge die Refraktionskonstante $R = \frac{n-1}{\Delta}$ dar. Wäre in O keine Absorptionslinie vorhanden, so würde in dem kleinen Spektralbereich überall $R = \frac{n-1}{\Delta} = OP$ sein (entsprechend der gestrichelten Linie P_1P_2); jetzt aber sind offenbar die positiven Ordinaten der R-Kurve durchschnittlich größer als die negativen. Alle Refraktionseffekte sind also im Durchschnitt größer auf der roten als auf der violetten Seite des Punktes O. Auch die mit $(n-1)^2$ proportionale anomale Diffusion, welche die Breite vieler Fraunhoferschen Linien bestimmt (S. 832), ist stärker auf der roten als auf der violetten Seite der wahren Absorptionslinie. In der unteren Hälfte der Figur 15 ist die Lichtschwächung durch Diffusion und Absorption dargestellt; die Funktion R_0 gibt nämlich den von einer homogenen Atmosphäre durchgelassenen Bruchteil der einfallenden Strahlung S an. Die scharfe Einsenkung bei O' entspricht der wahren Absorption, die breiten Abhänge (und der gestrichelte Teil d_2 d_3 d_4 der Kurve) entsprechen der Diffusion. In der Tat ist für viele Fraunhofersche Linien dieser aus der Theorie sich ergebende Typus der Lichtverteilung charakteristisch (Jewell, Deslandres, St. John); jedoch sind die meisten Linien so schmal, daß die Details zwischen d_2 und d_4 der Beobachtung entgehen, und bloß die Asymmetrie der ganzen Linie merkbar bleibt als eine Verschiebung nach rot.

ε) Einstein hat aus theoretischen Betrachtungen geschlossen, daß die Gravitationspotentialdifferenz Φ zwischen Sonnenoberfläche und Erde eine Wellenlängevergrößerung $\lambda'-\lambda=\lambda\frac{\Phi}{c^2}$ bedingt. Daraus würde für eine Linie $\lambda = 5000$ Å eine Verschiebung nach rot hin von 0,010 Å folgen (Einstein, Ann. d. Phys. 35, 898, 1911).

Um die allgemeine „Rotverschiebung" zu erklären, kommen die Ursachen β, δ und ε in Betracht. Nach ε sollten die Verschiebungen einfach den Wellenlängen proportional sein, was nicht zutrifft; diese Ursache kann also jedenfalls nicht die einzig maßgebende sein. Nach β würde sich der mittlere Druck in der „umkehrenden Schicht" zu 5 bis 6 Atmosphären berechnen; nach δ soll zwischen der Größe der Verschiebung und der Breite der Linien eine Beziehung (nicht Proportionalität) bestehen. Wir kommen auf die Erklärungen nach β und δ gleich zurück.

5c) Die Spektra einzelner Teile des Sonnenbildes (Zentrum und Rand; Chromosphäre und Protuberanzen; Flecken; Korona). Messungen von Halm, Fabry und Buisson, Adams, haben ergeben, daß die Rotverschiebung (und auch die Breite) der Fraunhoferschen Linien am Rande der Sonnenscheibe größer ist als in der Mitte. Die Unterschiede schwanken zwischen 0,000 und 0,014 Å. (Adams, Astrophys. Journ. 31. 30. 1910). Man hat dieses Phänomen durch die Ursache β zu erklären versucht, indem man den Druck an der Basis der umkehrenden Schicht zu etwa 12 Atmosphären ansetzte und bemerkte, daß das Licht des Randes in der unteren Hälfte der umkehrenden Schicht einen längeren Weg als in der oberen Hälfte zurückgelegt hat. Deshalb sollte ja am Rande der Druckeffekt der tieferen Schichten vorherrschen. Gegen diese Auffassung spricht die Tatsache, daß die hellen Linien des Chromosphärenspektrums durchschnittlich die gleiche Rotverschiebung wie die Fraunhoferschen Linien des Randspektrums zeigen, während doch in der höher liegenden Chromosphäre jener höhere Druck der tieferliegenden Schichten nicht obwalten kann.

Schreibt man die Rotverschiebung der Ursache δ zu, so erklärt sich ihre Zunahme (und die der Linienbreite) nach dem Rande hin aus der vermehrten Diffusion und unregelmäßigen Brechung (vgl. S. 832). Die gleichgroße Rotverschiebung der Chromosphärenlinien ist dann verständlich, weil das Chromosphärenlicht eben das im Fraunhoferschen Spektrum des Randes fehlende Licht ist. Auch wird es klar, weshalb einige starke, verwaschene Linien mit scharfem Kern (des Natriums, Kalziums, Magnesiums) abweichendes Verhalten zeigen. In solchen Fällen beurteilt man ja die Lage

Digitized by Google

der Linie nach der Lage des Kernes, und diese wird von der Asymmetrie der Brechungs- und Diffusionseffekte weniger stark beeinflußt, als die Intensität des Lichtes in den Flügeln der Linie.

In dem Spektrum der Chromosphäre beobachtet man immer die nachfolgenden 11 Linien:

7065,5 He	4861,5 Hβ	3970,2 Hε
6563,1 Hα	4471,8 He	3968,6 Ca(H)
5876,0 He	4340,7 Hγ	3933,8 Ca(K)
5316,8 Fe	4101,9 Hδ	

Bei zunehmender Durchsichtigkeit der irdischen Atmosphäre und Annäherung an den Sonnenrand wächst aber die Zahl der sichtbaren hellen Linien bedeutend; stärker noch bei Sonnenfinsternissen. Young gibt ein Verzeichnis von 300 Chromosphärenlinien. 1909 gelang es Hale und Adams, das Flashspektrum ohne Finsternis zu photographieren und die oben erwähnte genaue Koinzidenz der hellen Linien mit den Fraunhoferschen des Randspektrums festzustellen.

Zwischen dem Spektrum der Protuberanzen und dem der Chromosphäre besteht kein wesentlicher Unterschied. Die am häufigsten darin auftretenden Linien gehören den Elementen Ca, H, He, Ti, Mg, Fe, Sr, Ba, Na, Ce, Ni, V, Mn, Cr, Co, Yt, Zn, La an. Den meisten dieser Linien entsprechen im gewöhnlichen Sonnenspektrum breite, verwaschene Fraunhofersche Linien. Besonders gilt dies für diejenige Linien, welche im Protuberanzenspektrum kräftig sind und öfters große Verschiebungen zeigen, wie die Kalziumlinien H und K, die Linien des Wasserstoffs, einige des Titans, Magnesiums, Natriums. Das Helium nimmt insofern eine Ausnahmestellung ein, als seine Linien im Fraunhoferschen Spektrum zwar verwaschen, aber äußerst schwach, an vielen Stellen des Sonnenbildes sogar unsichtbar sind, während es doch im Protuberanzenspektrum durch kräftige, oft stark verzerrte Linien vertreten ist.

Man beobachtet an den Chromosphärenlinien mehrmals Auswüchse von solcher Größe, daß die Aenderung der Wellenlänge einige Ångströmsche Einheiten zu betragen scheint. Da man vor 1896 bloß Radialgeschwindigkeit als Ursache der Linienverschiebung kannte, war man gezwungen zu schließen, daß Kalziumdampf, Wasserstoff, Helium usw. mit Geschwindigkeiten von 100 bis 800 Kilometern in der Sekunde sich nahe parallel der Sonnenoberfläche bewegen könnten, ohne dabei die vielen anderen Gase in ihrer Ruhe zu stören; denn zahlreiche Chromosphärenlinien (u. a. die starke Linie λ 5316,8) zeigen solche Verschiebungen nie. Physikalisch war die Sache schwer verständlich. Auch die auf Seite 840 mit β, γ und ε bezeichneten Ursachen können so große, variable und selektive Verschiebungen nicht hervorrufen. Zieht man aber die anomale Dispersion in Betracht, so ergibt sich eine einfache Erklärung ganz von selbst. Mit wirklicher Linienverschiebung (d. h. mit einer Aenderung der Wellenlänge bei gegebenem Emissionszentrum) hat man es nämlich in solchen Fällen nicht zu tun. Die wahren Emissionslinien der Sonnenatmosphäre sind nach dieser Theorie relativ schwach und weichen (abgesehen von der Rotationsverschiebung) kaum merkbar von der Stelle; die helle Strahlung der Chromosphäre aber besteht wesentlich aus gewissen, den Emissionslinien benachbarten, stark gebrochenen Lichtarten, sie ist ausgewähltes Photosphärenlicht (vgl. S. 839). Von der zufälligen Lage und Größe der unregelmäßigen Dichtigkeitsgradienten hängt es ab, welche Lichtsorte von der einen, welche von der anderen Stelle der Scheibenumgebung herzukommen scheint: so bestimmt sich die Gestalt der verzerrten Chromosphären- und Protuberanzenlinien. Auf Erläuterungen an einzelnen Fällen müssen wir hier verzichten.

Das Fleckenspektrum. In dem Spektrum des Kernschattens der Sonnenflecken erscheint der kontinuierliche Hintergrund gegen denjenigen des gewöhnlichen Sonnenspektrums geschwächt, aber nicht in allen Teilen gleichmäßig; es gibt sogar Stellen, wo die Schwächung zweifelhaft ist. Außerdem zeigen viele Fraunhofersche Linien im Fleckenspektrum verändertes Aussehen. Die meisten unter ihnen sind verbreitert oder verstärkt (namentlich solche Linien, welche im Flammen- oder Lichtbogenspektrum der Elemente stark hervortreten), einige aber sind geschwächt (besonders Linien, welche im Funkenspektrum stärker als im Bogenspektrum sind) oder gar verschwunden. In den breiten Linien erscheinen bisweilen helle Umkehrungen. Ferner beobachtet man im Fleckenspektrum eine Anzahl Linien und Banden, die im Spektrum der Photosphäre unsichtbar sind (z. B. Banden des Titanoxyds, Magnesium- und Kalziumhydrids). Einen Ueberblick oft vorkommender Fälle von Linienveränderung im Fleckenspektrum gibt die schematische Zeichnung von Mitchell (Fig. 16). Das Spektrum des Halbschattens stellt den Uebergang vom Kernspektrum zum Photosphärenspektrum dar.

Nach Hale und Adams, denen wir ausführliche Untersuchungen über das Fleckenspektrum verdanken (Astrophys. Journ. **24**. 185, **25**. 75, sollen die meisten Eigentümlichkeiten der Fleckenlinien dadurch bedingt sein, daß in Flecken

Digitized by Google

der Emissions- und Absorptionsprozeß bei niedrigeren Temperaturen als in den übrigen Teilen der Photosphäre vor sich gehe; nur schreiben diese Forscher gewisse Spaltungs- und Verbreiterungserscheinungen den weiter unten zu erwähnenden magnetischen Einflüssen zu. (Astroph. Journ. 30, 86, 1909).

Wenn aber in Flecken die Dichte durch ein Minimum geht, unterliegt es keinem Zweifel, daß auch die anomale Brechung der Lichtstrahlen das Aussehen der Linien im Fleckenspektrum stark beeinflussen muß.

Die Untersuchung der subtilen Einzelheiten erfordert immer größere spektrale Hilfsmittel. Es befindet sich jetzt im Sonnenobservatorium auf Mount Wilson ein photographischer Atlas des Fleckenspektrums von solcher Ausdehnung in Vorbereitung, daß darauf jedem Zentimeter nur eine Angströmsche Einheit entspricht.

Zwischen den Spektren verschiedener Flecken findet man meist nur unbedeutende Unterschiede. Auch im Laufe der Fleckenperiode bleibt das Spektrum ziemlich konstant; nur scheinen die Linienverbreiterungen zur Zeit des Minimums etwas stärker zu sein. Bei Anwendung großer Dispersion hat Hale aber neuerdings merkwürdige Unterschiede zwischen den Spektren verschiedener Flecken beobachtet (siehe weiter unten).

Den Linien, welche im Fleckenspektrum am stärksten verbreitert sind, entsprechen im allgemeinen kräftige Chromosphärenlinien; und viele Eigentümlichkeiten des Fleckenspektrums finden sich, nach Hale und Adams, im Spektrum des Sonnenrandes wieder. Wenn entsprechend der Seite 836 erwähnten Fleckentheorie die Grenze der Umbra das verzerrte Bild des Sonnenhorizontes ist, kann das einen nicht wundernehmen. Ueberhaupt gibt dieser Gesichtspunkt, indem man die Gestalt der Dispersionskurve und der „Bestrahlungsfläche" (S. 830) mit in Betracht zieht, Aufschluß über mehrere Eigenschaften des Fleckenspektrums.

In der Nähe großer Flecken, besonders auf Lichtbrücken oder zwischen den Gliedern einer Fleckengruppe kann man häufig starke Verschiebungen und Verzerrungen gerade derjenigen Linien beobachten, welche auch im Chromosphärenspektrum solche Erscheinungen zeigen. Dagegen findet man im Kern wohlausgebildeter Flecken keine bedeutende Linienverschiebung, höchstens eine ganz kleine nach größeren Wellenlängen hin, wie im Spektrum des Sonnenrandes. Evidenz schneller aufsteigender oder absteigender Gasströmungen in den Kernen gibt es also nicht.

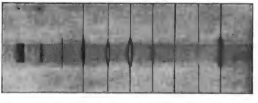


Fig. 16. Typen von Fleckenlinien. Nach einer Zeichnung von Mitchell.

Ein merkwürdiges allgemeines Gesetz der Linienverschiebung im Fleckenspektrum wurde im Jahre 1909 von Evershed entdeckt (Monthly Notices 69, 454; 70, 217). Wo immer ein Fleck auf der Sonnenscheibe gelegen sein mag — vorausgesetzt, daß die Entfernung vom Mittelpunkt mehr als 10° beträgt — ist stets die Mehrzahl der Fraunhoferschen Linien in seinem Spektrum ein wenig geneigt, wenn der Spalt den Fleck in der Richtung des Radius der Sonnenscheibe schneidet. Bei anderen Richtungen des Spaltes ist die Neigung geringer, und sie verschwindet, wenn der Spalt senkrecht zum Halbmesser des Sonnenbildes steht. Die Neigung ist immer so, daß die Linien auf der dem Rande zugekehrten Seite des Flecks nach rot hin, auf der dem Mittelpunkte zugewandten Seite nach violett hin verschoben sind; sie ist bei den einzelnen Linien der Größe nach verschieden. Nach späteren Beobachtungen von St. John bilden die Kerne der stark verbreiterten Linien des Kalziums stets, die des Wasserstoffs meistens, die des Magnesiums und Natriums oft eine Ausnahme, indem sie die entgegengesetzte Schiefe zeigen.

Diese Eigentümlichkeit der Fleckenlinien erweckt, wegen ihrer Symmetrie um den Scheibenmittelpunkt herum, sogleich den Gedanken irgendeiner dioptrischen Ursache. Sie ergibt sich auch wirklich als notwendige Folge aus der Seite 836 gegebenen Fleckentheorie, wenn man auf die entgegengesetzte Brechung des R-Lichts und des V-Lichts (d. h. der Lichtsorten die auf der roten resp. violetten Seite jeder Absorptionslinie angetroffen werden) Rücksicht nimmt. Aus Mangel an Raum kann hier diese Erklärung nicht ausführlich gegeben werden (vgl. Physik. Zeitschr. 11, 65, 1910). Evershed selbst deutet die Erscheinung auf Grund des Dopplerschen Prinzips; er schließt, daß die Gase sich nahe parallel

Digitized by Google

zur Sonnenoberfläche von der Mitte des Flecks mit zunehmender Geschwindigkeit nach außen hin bewegen, läßt aber unaufgeklärt wie die Gase zur Quelle gelangen, denn vertikale Strömungen fand er nicht in genügender Stärke.

Wenn die Sonnenflecken durch Wirbel verursacht werden und wenn die in ihnen zirkulierenden ionisierten Gase sei es positive, sei es negative Ionen im Ueberschuß enthalten, so muß der Fleck der Sitz eines magnetischen Feldes sein, in dessen intensivsten Teilen die Kraftlinien parallel zur Wirbelachse verlaufen. Das Fleckenlicht könnte also die Eigentümlichkeiten aufweisen, die wir im Laboratorium beobachten, wenn emittierende und absorbierende Gase sich im magnetischen Felde befinden.

Diese Ueberlegung führte Hale auf die Entdeckung des Zeemaneffekts im Spektrum der Sonnenflecken (Astroph. Journ. **28**, 315, 1908). An einigen doppelt oder mehrfach erscheinenden Fleckenlinien des Eisens, Titans und Chroms konnte er nämlich nachweisen, daß die Komponenten gerade so polarisiert waren, wie sie es gemäß dem inversen Zeemaneffekt in Duplets oder Triplets sein sollten. In den mittleren Teilen der Sonnenscheibe zeigten die Flecken im wesentlichen den longitudinalen, nahe am Rande den transversalen Zeemaneffekt. Nach verschiedenen Richtungen hin wurde die Deutung geprüft und bestätigt gefunden.

Als Größenordnung der Feldstärke in Flecken fand Hale etwa 3000 Gauß. Verschiedene Linien, auch solche des gleichen Elements, ergaben für die Feldstärke oft ungleiche Werte; Hale erklärt das durch die Annahme, daß die Linien in verschiedenen Niveaus zustande kommen. — Aus gewissen Erwägungen schließt er weiter, daß das Feld durch die Zirkulation negativer Ionen entsteht.

Selbstverständlich hat diese schöne, nur durch großes Geschick und mit großen Mitteln erreichbare Entdeckung, gerade zur Zeit wo das Zeemanphänomen und verwandte Erscheinungen im Mittelpunkte des physikalischen Interesses standen, allgemeines Aufsehen erregt.

Anfangs meinte man, es sei durch den Nachweis der Existenz magnetischer Felder in Sonnenflecken nun auch die Erklärung der erdmagnetische Störungen (die offenbar mit der Fleckenhäufigkeit in irgendeinem Zusammenhang stehen) viel leichter geworden; die Rechnung ergab aber bald einen ganz unmerklich kleinen Wert für die direkte Einwirkung der Fleckenfelder auf den Erdmagnetismus. Dagegen scheint das Studium des longitudinalen Zeemaneffekts in Flecken auf sichere Schlüsse hinsichtlich des Drehungssinnes der Sonnenwirbel zu führen. Manchmal zeigen zwei verschiedene Kernschatten, die sich innerhalb eines gemeinsamen Halbschattens befinden, oder zwei Glieder einer Fleckengruppe, entgegengesetzte magnetische Polarität; sie besitzen dann entgegengesetzten Drehungssinn. Oft wird ein Flecken der einen Polarität in der nördlichen Halbkugel von einem Flecken der anderen Polarität in der südlichen Halbkugel begleitet, als wären sie die Enden eines sich durch die Sonnenmasse hindurchziehenden Wirbelfadens (vgl. Fig. 8, S. 835).

Der Nachweis des magnetischen Feldes in Flecken ist jedenfalls ein kräftiger Beleg für die Richtigkeit der Auffassung, daß Sonnenflecken Wirbel anzeigen.

Das Koronaspektrum. Wegen der Seltenheit totaler Sonnenfinsternisse schreitet unsere Kenntnis des Koronaspektrums nur langsam fort. Dieses Spektrum ist in der Hauptsache ein kontinuierliches, enthält aber dazu eine Anzahl heller Linien (λ **5303**, 4359, 4231, 4086, **3987**, 3801, 3643, 3456, 3381, 3237, 3188, 3170, 3164), denen im Sonnenspektrum keine Fraunhoferschen Linien zu entsprechen scheinen. Die stärkste Linie 5303 wird einem auf Erden unbekannten Elemente, dem Koronium, zugeschrieben.

Aus der starken Polarisation des Koronalichts hat man geschlossen, daß es zum größten Teil reflektiertes Photosphärenlicht sei, und daß also die Korona feste oder flüssige Partikelchen enthalten müsse, die das Licht zurückwerfen. Weil jedoch die Fraunhoferschen Linien in dem Spektrum der äußeren Korona nur schwach, in dem der inneren fast gar nicht zu erkennen sind, führt man meistens einen erheblichen, nach außen hin abnehmenden Bruchteil des Lichtes auf die Eigenstrahlung der glühenden Partikelchen zurück. Mit dieser Auffassung stimmt nun aber nicht der äußerst geringe Gehalt der Koronastrahlung an infraroten Wellen; deshalb hat man eine durch Kathodenstrahlen verursachte Phosphoreszenz der Teilchen und der Gase als möglich herbeigezogen.

Eine Schwächung der Fraunhoferschen Linien im Spektrum des reflektierten Teils der Koronastrahlung muß indessen auch infolge der anomalen Diffusion des Lichtes eintreten; denn es ist wahrscheinlich, daß in der inneren Korona die gleichen Gase wie in den tieferen Schichten der Sonne vorhanden sind (wenn auch in veränderten Proportionen), und dann müssen sie ein Diffusionsspektrum mit hellen Linien zeigen, wodurch die dunklen Linien des (von der Reflexion an den größeren Partikelchen herrührenden) Fraunhoferschen Spektrums mehr oder weniger ausgeglichen werden.

Nimmt man also an, daß Koronalicht sei zusammengesetzt aus: Strahlung (elektrisch?) erregter Gase, reflektiertem, und anomal zerstreutem Photosphärenlicht, so lassen sich schon die meisten Eigentümlich-

Digitized by Google

keiten seines Spektrums erklären. Vielleicht bilden Eigenstrahlung glühender Partikelchen und Phosphoreszenzlicht einen wahrnehmbaren Zusatz.

6. Die spektroheliographischen Bilder. 6a) Die Beobachtungsmethode. Im Jahre 1892 haben fast gleichzeitig Hale und Deslandres die Sonnenforschung mit einer schönen neuen Beobachtungsmethode bereichert, welche schon früher im Prinzip angegeben (Janssen, Braun), jedoch nicht zur Ausführung gelangt war. Das Prinzip ist folgendes:

Man entwirft ein Sonnenbild auf der Spaltebene eines Spektralapparates. Der Spalt läßt einen schmalen Streifen des Bildes durch. Im Spektrum dieses Streifens befindet sich ein verschiebbarer Schirm mit einem zweiten Spalt, der einen ganz beliebig zu wählenden Wellenlängenbereich den Durchgang zur unmittelbar hinter dem Schirm gestellten photographischen Platte gestattet. Es sei z. B. die Kalziumlinie K mit ihrer nächsten Umgebung (etwa 10 Å) gewählt. Nach beendeter Aufnahme läßt man nun das Sonnenbild vor dem ersten Spalt und die photographische Platte hinter dem zweiten Spalt eine kleine Strecke (etwas größer als die Breite des zweiten Spaltes) verrücken, macht eine neue Aufnahme, und wiederholt diese Operation bis das ganze Bild an dem ersten Spalt vorübergegangen ist. Die Platte gestattet uns dann auf einmal zu überblicken, wie an den verschiedenen Stellen der Sonnenscheibe der gewählte Spektralbereich aussieht. Figur 17 zeigt eine solche von Des-

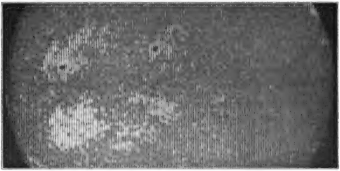


Fig. 17. Das wechselnde Aussehen der Kalziumlinie K auf der Sonnenscheibe. Deslandres 3. Sept. 1908.

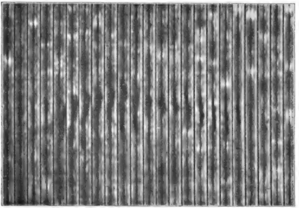


Fig. 18 a. Teil einer Aufnahme wie in Fig. 17.

Digitized by Google

landres herrührende Photographie, die Figuren 18a und 18b sind Teile davon in größerem Maßstabe.

Ist der zweite Spalt sehr eng und erfolgt die Bewegung des Sonnenbildes und der photographischen Platte nicht sprungweise, sondern kontinuierlich, so erhält man ein Bild der Sonnenscheibe in nahezu monochromatischem Licht, wie Figur 19.

Das gelang zuerst Hale. Er gab dem Instrumente den Namen Spektroheliograph, und bildete in den folgenden zwanzig

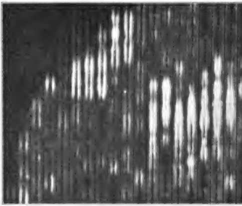


Fig. 18 b. Teil einer Aufnahme wie in Fig. 17.

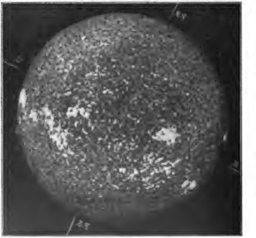


Fig. 19. Spektroheliographische Aufnahme mit der violetten Seite von K_2. 18. Sept. 1908. Deslandres.

Jahren die neue Methode zunächst im Yerkes Observatorium, später auf Mount Wilson, in großartiger Weise aus. Während derselben Zeit sammelte in Meudon Deslandres mit bescheideneren Hilfsmitteln ebenfalls sehr wertvolles Beobachtungsmaterial, indem er den engspaltigen spektroheliographischen Aufnahmen immer weitspaltige Aufnahmen, die er mit dem diskontinuierlich arbeitenden Apparate erhielt, an die Seite stellte und große Dispersion anwandte. Heutzutage sind schon mehrere astrophysikalische Institute mit Spektroheliographen ausgerüstet (Mount Wilson, Meudon, Yerkes, London, Potzdam, Kodaikánal, Tacubaya, Catania, Madrid).

Welche Bedeutung

Digitized by Google

soll man nun aber den Spektroheliogrammen beilegen? Das hängt natürlich ganz davon ab, wie man sich den Ursprung der dunklen und hellen Linien im Spektrum der verschiedenen Teile des Sonnenbildes denkt. Wir wollen zwei stark verschiedene Deutungen besprechen.

6b) Erste Deutung der Resultate. Nach der Kirchhoffschen Erklärung des Sonnenspektrums hebt sich eine Fraunhofersche Linie nur deshalb dunkel gegen den hellen Hintergrund ab, weil der betreffende Dampf das Photosphärenlicht teilweise absorbiert. Scheidet also der zweite Spalt genau eine solche dunkle Linie aus, und zeigt das damit erhaltene Spektroheliogramm eine flockige Struktur von Stellen ungleicher Helligkeit, so würde man schließen, daß an den dunkleren Stellen mehr, an den helleren Stellen weniger absorbierender Dampf sich befand.

Freilich kompliziert sich die Sache aus zwei Gründen: erstens könnte die dunkle Linie stellenweise verschoben sein (durch Doppler-, Humphrey- oder Zeemaneffekt), in welchem Falle vermehrte Helligkeit an jenen Stellen des Bildes auch ohne Verminderung des örtlichen Dampfgehaltes eintreten würde; und zweitens projiziert sich (nach der vorausgesetzten Anschauung) die Chromosphäre mit ihren Protuberanzen und die umkehrende Schicht auf der Photosphärenscheibe, so daß hellere Stellen im Bilde auch von lokaler Erhöhung der Chromosphärenstrahlung herrühren könnten.

Hat man es mit breiten Linien, wie H und K des Kalziums zu tun, so scheint es möglich, die erwähnten Ursachen einigermaßen voneinander zu trennen, besonders wenn man nach dem Vorgange Deslandres neben dem Spektroheliogramm auch die entsprechende diskontinuierliche, breitspaltige Aufnahme betrachtet. Es möge der breite Spalt z. B. die ganze K-Linie hindurchlassen. Man erkennt dann im Bilde ihre verwickelte Natur und ihr Verhalten auf der ganzen Scheibe. Nach einer von Hale eingeführten Bezeichnung wird die breite, verwaschene dunkle Grundlinie mit K_1 angedeutet, die darauf gelagerte helle Doppellinie wechselnder Breite und Intensität mit K_2, die feine, dunkle zentrale Linie mit K_3. In den Figuren 18a und 18b erblickt man hauptsächlich K_2 und K_3; der zweite Spalt war nicht breit genug um auch K_1 vollständig aufzunehmen. K_1 schreibt man der Absorption durch dichten und deshalb tiefliegenden Kalziumdampf zu; K_2 soll von der Strahlung des Kalziums der Chromosphäre, K_3 von der Absorption durch die allerhöchsten Schichten des Dampfes herrühren. Befindet sich also bei einer spektroheliographischen Aufnahme der enge Spalt irgendwo in K_1, so zeigt das Bild die Verteilung des absorbierenden Kalziumdampfes in einem tiefen Niveau; hatte man den Spalt dicht an der Grenze von K_2 gestellt, entsprechend einer höheren Schicht des absorbierenden Dampfes, so würde die gleichzeitige Betrachtung der diskontinuierlichen Aufnahme Auskunft darüber geben können, inwiefern vielleicht die Lichtverteilung im Spektroheliogramm durch die Chromosphärenstrahlung K_2 beeinflußt wurde; und in gleicher Weise könnte man, im Falle einer spektroheliographischen Aufnahme mit K_3, über den Anteil von K_2 an dem Bilde etwas erfahren.

Eine heillose Unsicherheit in dieser Interpretation der Spektroheliogramme entsteht freilich dadurch, daß man die häufigen Verschiebungen und Verzerrungen von K_2 und K_3 (man vgl. z. B. die Fig. 18a, S. 845) raschen Bewegungen des Dampfes in der Sehrichtung zuschreibt; denn man weiß nun nicht mehr, ob eine gewisse Lichtverteilung im Bilde die lokalen Emissions- oder Absorptionsverhältnisse des in einer bestimmten Schicht ruhenden Dampfes anzeigt, oder aber, ob man es mit steigenden und sinkenden Massen, die anderen Schichten angehören, zu tun hat.

Indessen halten doch einstweilen sowohl Hale als Deslandres die erwähnte Deutung der Spektroheliogramme für die beste: sie vertreten die Ansicht, daß die mit K_1, K_2, K_3 aufgenommenen Bilder die räumliche Verteilung des Kalziumdampfes in immer höheren Schichten der Sonnenatmosphäre darstellen. Entsprechend erklären sie die übrigen Spektroheliogramme.

Auf das Für und Wider obiger Deutung können wir uns hier nicht ausführlich ein lassen; auch müssen wir die vielen interessanten Einzelheiten der Bilder die mit verschiedenen Linien des Spektrums (wie Fig. 20) oder mit verschiedenen Teilen derselben Linie (wie Fig. 21) aufgenommen wurden, mit Stillschweigen übergehen. Nur folgendes sei noch hervorgehoben. Aus der an manchen Stellen unsymmetrischen Gestalt der K-Linie (Fig. 18a und 18b) ersieht man, daß notwendig Unterschiede bestehen müssen zwischen zwei Spektroheliogrammen, bei deren Aufnahme der zweite Spalt in gleichen Entfernungen rechts und links von der Mitte der Linie eingestellt worden war. Für andere breite Linien gilt dasselbe. Wenn man nun, entsprechend der Kirchhoffschen Auffassung des Sonnenspektrums, die Lichtverteilung bloß auf Emission und Absorption zurückführt, und die Verzerrungen der Linien aus Bewegungen der Gase im Visionsradius erklärt, so muß man schließen, daß die Verschiedenheit solcher „Rechts- und Linksspektroheliogramme" auf besonders ge-

Digitized by Google

schwinde auf- und abgehende Strömungen des betreffenden Gases hinweist. Schnelle Zirkulation wäre also das Privilegium der Gase mit breiten Linien; denn die schmalen Linien des Sonnenspektrums sind nicht oder kaum merkbar verzerrt.

6c) Zweite Deutung der Resultate. Die neuere Theorie der Lichtdispersion führt zwingend zum Schluß, daß die Kirchhoffsche Erklärung der Fraunhoferschen Linien unzulänglich ist (vgl. S. 832). Erstens rührt die Dunkelheit jener Linien zum Teil von anomaler Diffusion her (S. 841), und zweitens erleiden das R-Licht und das V-Licht (S. 843) große Ablenkungen in den unregelmäßigen Dichtigkeitsgradienten, wodurch die Lichtverteilung in der nächsten Umgebung der Absorptionslinien durchaus geändert werden kann (Julius, Astroph. Journ. **25**, 95, 1907 und **28**, 360, 1908). Aus dieser Ueberlegung ergibt sich eine ganz andere Auffassung der Spektroheliogramme.

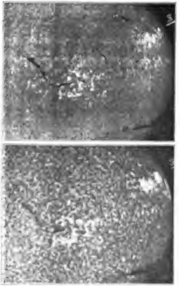


Fig. 20. Spektroheliogramme; Deslandres, 11. April 1910.
Oben: mit der Mitte der Wasserstofflinie, Hα;
Unten: mit der Mitte der Kalziumlinie, K_3.

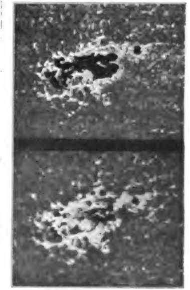


Fig. 21. Spektroheliogramme mit Teilen der Kalziumlinie H; Hale und Ellerman, 9. Oktober 1903.
Oben: mit H_1, λ 3966;
Unten: mit H_2, λ 3968,6.

Der Kameraspalt des Spektroheliographen befinde sich irgendwo in K_1; man hat dann eine Lichtart ausgewählt, für die der Kalziumdampf eine bestimmte Refraktionskonstante $R=\frac{n-1}{\Delta}$ besitzt. Durch die Größe der anomalen Diffusion für diese Lichtart wird nun die mittlere Intensität des Bildes bestimmt; die flockige Struktur aber rührt von der unregelmäßigen Strahlenbrechung her; sie hat also dieselbe Ursache wie die Granulation im direkten Sonnenbild, nur zeigt das Spektroheliogramm größere Lichtkontraste, weil man eine starkbrechbare Strahlensorte gewählt hat. Mit der Brechbarkeit der Strahlensorte nehmen die Kontraste zunächst zu; sie werden also größer, wenn der Kameraspalt näher an den Kern der Linie heranrückt (vgl. mehrere Photographien von Hale und Ellerman in „The Rumford Spectroheliograph of the Yerkes Observatory“ Chicago 1903). Dabei ändern sich auch die Formen im Bilde, weil in denselben Gradienten die Bahnen der Lichtstrahlen andere werden, und weil außerdem in dem kleinen vom Spalt aufgenommenen Wellenlängenbereich eine immer größere Verschiedenheit der Brechungsindices vertreten ist

Digitized by Google

(was man aus der Gestalt der Dispersionskurve ersieht). Beim Wachsen dieser Verschiedenheit treten aber die feineren Strukturdetails, welche durch die steilen Gradienten der tieferen Schichten hervorgerufen werden, durch Uebereinanderlagerung zurück. An vielen Stellen wird also das Bild einförmiger, an anderen Stellen rufen schwache aber zufällig günstig gelagerte Gradienten höherer Schichten große Lichtkontraste durch die stärkstbrechbaren Strahlen hervor.

Merkwürdigerweise gelangt man also auf diesem, von der ersten Deutung durchaus verschiedenen Wege ebenfalls zu dem Ergebnis, daß die spektroheliographischen Bilder im großen ganzen um so höheren Niveaus entsprechen, je näher der Kameraspalt an die Mitte einer Linie heranrückt.

Ueberraschend deutlich zeigt sich die allmähliche Veränderung des Charakters der Spektroheliogramme beim Annähern an eine Linie, in einer Reihe von Bildern (Fig. 22), welche Deslandres „filaments" genannt) sowie helle Felder abzeichnen. Auf solche Weise ist es verständlich, weshalb Bilder, die mit K_3 und mit der Mitte von Hα unmittelbar hintereinander gewonnen sind, im wesentlichen dieselben „filaments" zeigen (Fig. 20), eine Tatsache, die schwer zu erklären ist, wenn man, nach der ersten Auffassung, jene Gebilde als scharfbegrenzte Anhäufungen absorbierender Gase deutet.

Die zweite Deutung der spektroheliographischen Resultate läßt sich also folgendermaßen kurz fassen: die Struktur eines jeden Spektroheliogramms ist eine Anzeige der Dichtigkeitsgradienten einer bestimmten Komponente des Gasgemisches. Von diesem Gesichtspunkte aus versucht sie alle Einzelheiten der Bilder zu interpretieren.

7. Bewegungen auf der Sonne. 7a) Verschiedene Rotationsgeschwindigkeiten. Daß die Winkelgeschwindigkeit der rotierenden Sonnenmasse keine eindeutig

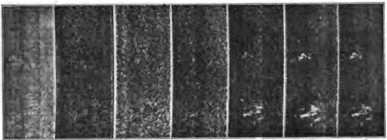


Fig. 22. Aufnahme mit Teilen von Hα, immer näher an die Mitte der Linie. Deslandres, 6. August 1909.

Deslandres mit Wellen aus dem Bereich der Hα-Linie aufgenommen hat, indem er den sehr engen zweiten Spalt in Schritten von 0,135 Å immer näher an die Mitte der Linie heranrücken ließ. Viele Einzelheiten der Bilder gingen leider in der Reproduktion verloren. Bild 1 bezieht sich auf den äußersten Rand, Bild 7 auf die Mitte der Linie. Anfänglich (1 bis 3) nehmen die Kontraste mit der Brechbarkeit der Strahlen zu, nachher wegen Superposition der Effekte verschiedener Brechbarkeiten wieder ab. Maximum und Minimum der Dispersionskurve (Fig. 15) liegen bei Hα einander näher als bei H oder K; die Kurve ist in der Mitte sehr steil; der Kameraspalt umfaßte also im 7. Bilde Strahlen von so stark verschiedenen Brechbarkeiten, daß sich die meisten Details dort ausgeglichen haben.

Wo aber die am stärksten brechbaren Strahlen in den höheren Schichten Diskontinuitätsflächen tangieren, können sie derartige Ablenkungen erfahren, daß sich in den betreffenden Bildern ziemlich scharf begrenzte dunkle Felder (von bestimmbare Größe ist, sondern mit der heliographischen Breite sich ändert, zeigte sich zunächst in der Bewegung der Sonnenflecken (Carrington). Aber sogar für eine gegebene Breite läßt sich die Rotationsgeschwindigkeit nicht genau angeben, denn, wie schon oben (S. 833) bemerkt wurde, stellen die Flecken keine festen Gebilde auf der Sonnenoberfläche dar; sie haben veränderliche Gestalt und besitzen Eigenbewegung. Wenn man die Sonnenrotation aus Beobachtungen an Fackeln (Stratonoff) oder an Kalziumflocken (Hale) zu ermitteln versucht, stößt man auf dieselben Schwierigkeiten, und auch die spektroskopische Methode, welche die Winkelgeschwindigkeit aus der Verschiebung der Fraunhoferschen Linien im Spektrum des Ostrandes gegen die Linien im Spektrum des Westrandes der Scheibe zu berechnen gestattet (Dunér, Halm,

Digitized by Google

Adams, Pérot), gelangt zu einigermaßen verschiedenen Resultaten je nach der Wahl der Linien. Im Hinblick auf die gasige Natur der Sonne ist diese Unsicherheit verständlich.

Man hat aber aus den vorliegenden Messungsreihen Mittelwerte gebildet, und für den in einem Tage zurückgelegten Drehungswinkel nach den verschiedenen Methoden die nachfolgenden Werte gefunden:

Rotationsgeschwindigkeit der Sonne.

Breite	Flecken	Fackeln	Linienverschiebungen	Kalziumflocken	Gesamtmittel
0—5	14,40°	14,62°	14,70°	14,54°	14,57°
5—10	14,35	14,61	14,58	14,41	14,49
10—15	14,25	14,31	14,43	14,30	14,32
15—20	14,13	14,18	14,23	14,13	14,17
20—25	13,98	14,19	14,00	13,99	14,04
25—30	13,80	14,08	13,72	13,97	13,89
30—35	13,60	13,60	13,43	13,75	13,59

Die Methode der Linienverschiebung konnte bis in 80° Breite angewandt werden; sie ergab dort einen täglichen Drehungswinkel von 11,8°.

7b) Die Eigenbewegung der Flecken. Seitdem wir erkannt haben, daß durch die veränderliche Brechung des Lichts in den Sonnengasen rasche Bewegungen leuchtender oder absorbierender Massen (sowohl im Visionsradius als senkrecht dazu) vorgetäuscht werden können, wird es eine schwere Aufgabe, wirkliche Bewegungen auf der Sonne von scheinbaren zu unterscheiden.

Eine Verdichtungswelle z. B. kann sich optisch als helleres Gebilde bemerkbar machen; ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit zeigt uns aber nicht die Geschwindigkeit der Materie in der Welle. Bewegt sich jedoch ein Wirbel in einer Gasmasse, so führt er bekanntlich Materie mit sich. Deshalb müssen wir die Eigenbewegungen der Sonnenflecken als wirkliche Versetzungen von Stoffmassen deuten. Ueber die Größe der dabei vorkommenden Geschwindigkeiten hat **Hansky** Messungen angestellt (Mitteilungen Pulkowo III, Nr. 25, 1908). Er fand als maximalen Wert 0,4 km, als mittleren Wert etwa 0,15 km in der Sekunde. Von derselben Größenordnung müssen die Geschwindigkeiten der Zirkulationsbewegung in der Umgebung der Vortices sein; sie sind also nur ungefähr zehnmal so groß als die Windgeschwindigkeiten in der Erdatmosphäre.

7c) Die zweifelhaften Bewegungserscheinungen. Abgesehen von den Wirkungen gelegentlich in die Sonne hineinstürzender Meteore erscheint es nun zweifelhaft, ob geordnete Massenbewegungen mit Geschwindigkeiten, größer als vielleicht 1 km pro Sekunde, in der Sonnenatmosphäre regelmäßig stattfinden. **Hansky** hat die Ortsveränderungen der auf der ganzen Sonnenscheibe sichtbaren Granulationen eingehend untersucht (l. c.), und für deren Geschwindigkeiten Werte gefunden, die merkwürdigerweise zwischen engen Grenzen (2,8 und 4,8 km) schwanken; es ergab sich durchschnittlich 3,7 km in der Sekunde. Man kann aber nicht behaupten, wie im Falle der Wirbel, daß diesen Ortsveränderungen notwendig gleichschnelle Massenwanderungen entsprechen.

Verdichtungswellen aber könnten sich gerade mit dieser Geschwindigkeit fortpflanzen. Denn gesetzt, man hätte es mit einem Gemisch aus Wasserstoff, Helium und Metalldämpfen zu tun, in dem die Schallgeschwindigkeit, auf 0° C reduziert, 800 m in der Sekunde wäre, so würde das bei 6000° ergeben:

$$v = 0,8\sqrt{1 + \frac{6000}{273}} = 3,8 \text{ km pro Sekunde.}$$

Da sich die Zusammensetzung des Gasgemisches mit dem Niveau ändert, muß auch die Druckwellengeschwindigkeit von Schicht zu Schicht verschieden sein.

Liegen also bereits Gründe vor, daran zu zweifeln, ob die Granulationsbewegung Massenbewegung ist, so gilt das um so mehr hinsichtlich der enormen Geschwindigkeiten, von welchen in den Abschnitten 4g und 5c die Rede war. Wer einmal die Möglichkeit eingesehen hat, solche Phänomene auf einheitliche Weise als Folgen der Lichtdispersion zu betrachten, kann sich in der Vorstellung, daß Ströme von Wasserstoff, Kalziumdampf, Magnesiumdampf usw. mit Riesenschnelligkeit andere, ruhende Gase durcheilen sollten, nicht länger zurechtfinden.

7d) Die Periodizität der Sonnenphänomene. Die Zahl der Sonnenflecken an verschiedenen nahe aufeinanderfolgenden Tagen ist sehr wechselnd und unregelmäßig; wenn man aber, wie zuerst **Schwabe** es tat (1826 bis 1868), für jedes Jahr aus der täglich beobachteten Fleckenzahl den Jahresdurchschnitt berechnet, so weisen diese Durchschnittszahlen einen auffallend periodischen Gang auf. Zur Zeit des Maximums sind fast stets Flecken zu beobachten, deren Zahl häufig 25 bis 50 beträgt. Zur Zeit des Minimums der Fleckenperiode ist oft wochenlang kein einziger Flecken zu erblicken.

Nachdem **Wolf** und **Wolfer** in der Geschichte der Sonnenbeobachtung diese Gesetzmäßigkeit zurückverfolgt, **Carrington** und **Warren de la Rue** dazu noch die gesamte Ausdehnung der seit 1835 täglich gesehenen Flecken gemessen hatten, und von mehreren Forschern derartige Beobachtungen fortgesetzt worden waren, hat sich eine mittlere Dauer

Digitized by Google

der Fleckenperiode von 11,125 Jahren ergeben (Schuster). Eine strenge Periodizität, wie die der Planetenbewegungen, liegt hier aber keineswegs vor; Dauer und Amplitude schwanken in weiten Grenzen; und auch wenn man entsprechend den Resultaten, welche Schuster durch Anwendung der harmonischen Analyse auf die Frequenzkurve erhalten hat, eine Uebereinanderlagerung von vier verschiedenen Perioden (33,375, 11,125, 8,36, 4,8 Jahren) annimmt, ist der Verlauf der Kurve nur unvollständig beschrieben.

Spörer fand, daß von einem Minimum zum folgenden die mittlere heliographische Breite der Flecken allmählich abnimmt.

Offenbar hat die Fleckenperiode große Bedeutung für die ganze Haushaltung der Sonne. Sie wird deshalb oft als „Periode der Sonnentätigkeit" bezeichnet, denn mehrere Sonnenphänomene wechseln ihr Aussehen oder ihre Intensität in dem gleichen Tempo.

Maxima und Minima der Fackelflächen fallen mit denen der Flecken zusammen; Maxima und Minima der Protuberanzenhäufigkeit treten etwas verspätet gegen die der Flecken ein. Auch die bevorzugten Zonen der Protuberanzen verschieben sich in demselben Zyklus, ohne jedoch in lokaler Hinsicht den Fleckenzonen zu folgen (Lockyer). Und der Typus der Korona scheint sich gleichfalls mit der Phase der Sonnentätigkeit zu ändern.

Versuche, die Periodizität mit der Stellung der Planeten in Zusammenhang zu bringen (Sellmeier, Ekholm), sind nach Schusters harmonischer Analyse noch nicht gelungen, werden aber fortgesetzt. Andere Theorien gründen sich auf Voraussetzungen über die Vorgeschichte und den inneren Bau des Sonnenkörpers (Wilsing, Wilczynski) oder über chemische und physikalische Prozesse, Temperatur- und Strahlungsverhältnisse (Brester, Halm); aber trotz der vielen geistreichen und scharfsinnigen Hypothesen ist man von einer befriedigenden Erklärung der Periodizität der Sonnenphänomene noch weit entfernt.

Das ist auch deshalb besonders zu bedauern, weil die Veränderungen der „Sonnentätigkeit" sich ganz deutlich in mehreren irdischen Verhältnissen (auf den Gebieten des Erdmagnetismus, Fig. 23, und der Meteorologie: Sabine, Wolf, Maunder, Schuster, Birkeland, Meldrum, Bigelow; vgl. den Artikel „Magnetfeld der Erde") abspiegeln. Die schwierige Frage nach dem Wesen dieses Zusammenhangs gehört einstweilen kaum zur Physik der Sonne im engeren Sinne; wir dürfen sie also für jetzt dahingestellt sein lassen, obwohl gerade in dieser Richtung die Astrophysik der Zukunft vielleicht großartige Erfolge zeitigen wird.

Literatur. *C. G. Abbot, Annals of the Astroph. Obs. of the Smiths. Inst. Vol. II. 1908. — Derselbe, The Sun. New York und London 1911. — W. S. Adams, An Investigation of the Rotation Period of the Sun by Spectroscopic Methods. Washington 1911. — Sv. A. Arrhenius, Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903. — J. Bosler, Les théories modernes du soleil. Paris 1910. — A. Brester Jz,*

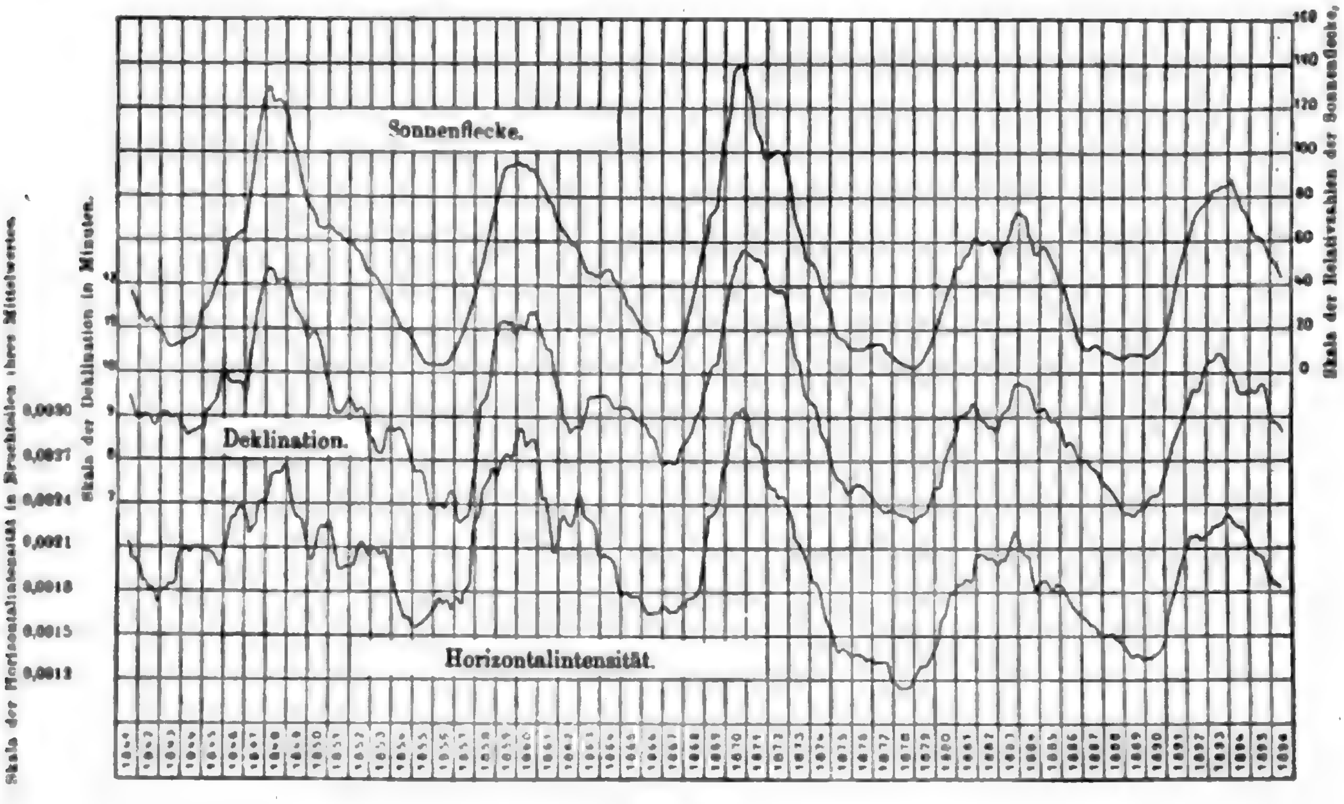


Fig. 23.

Digitized by Google

Théorie du soleil. Verhand. Kon. Akad. v. W. Amsterdam, I, 3, 1892; IX, 6, 1908. — **Agnes M. Clerke**, *Problems in Astrophysics. London 1903.* — **H. Deslandres**, *Ann. de l'observatoire d'astronomie physique de Paris, IV, 1910.* — **Derselbe**, *Zahlreiche Abhandlungen in den C. R.* — **R. Emden**, *Gaskugeln. Leipzig und Berlin 1907.* — **J. Fényi**, *Protuberanzen, beobachtet in den Jahren 1888 bis 1892. Kalocsa 1902 und 1911.* — **G. A. Hale**, *The Study of Stellar Evolution. Chicago 1908.* — **Derselbe**, *Viele Arbeiten im Astroph. Journ.* — **W. H. Julius**, *Mehrere Abhandlungen in den Archives néerlandaises. Seit 1900.* — **E. Pringsheim**, *Physik der Sonne. Berlin 1910.* — **P. Salet**, *Spectroscopie astronomique. Paris 1909.* — **C. A. Young**, *The Sun. New York 1881 bis 1895.* — *Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory. Carnegie Institution of Washington. Seit 1905.* — *Transactions of the International Union for Co-operation in Solar Research. Manchester 1906, 1908, 1911.*

W. H. Julius.

Physikalisch-chemische Analyse.

1. Das Verhältnis zur chemischen Analyse. 2. Die zu Mengenbestimmungen verwertbaren Eigenschaften. 3. Spezifisches Gewicht und Aräometrie. 4. Lichtbrechung und Refraktometrie. 5. Drehungsvermögen und Polaristrobometrie. 6. Farbe, Absorption, Emission, Spektralanalyse und Verwandtes. 7. Elektrisches Leitvermögen und Telephonanalyse. 8. Potentialmessungen und elektrometrische Analyse. 9. Radioaktivität. 10. Positive Strahlen. 11. Thermische Analyse. 12. Katalytische Wirkungen. 13. Adsorptionsanalyse.

1. Das Verhältnis zur chemischen Analyse. Durch die Entwickelung der Chemie, wie sie sich im Laufe der letzten Jahrzehnte unter dem Einflusse der Physik vollzogen hat (vgl. den Artikel „Physikalische Chemie") ist der Analytiker vor eine Reihe neuer Aufgaben gestellt worden. Als solche kommen zunächst in Betracht die Bestimmung der Konzentration gelöster Stoffe ohne Eingriff in die Zusammensetzung (wobei gasförmige, flüssige und feste Lösungen ins Auge zu fassen sind) und die Ermittelung des Zustands des gelösten Stoffs (Molekulargewicht und die durch Dissoziation und Assoziation bedingten Abweichungen). Vielfach ist die Kenntnis der Konzentration der aktuellen (weil gewissermaßen primär wirkenden) Bestandteile, wie bei Salzlösungen die Kenntnis der Ionenkonzentration, von größerem oder wenigstens ebenso großem Interesse wie die der Gesamtkonzentration des Stoffs, aus dem der aktuelle Bestandteil (etwa durch Dissoziation) entsteht. Erst recht versagen die chemischen Methoden der Analyse bei der Ermittelung des Gleichgewichtszustandes zwischen mehreren Stoffen — wie beispielsweise beim Studium der Zusammensetzung komplexer Salze — (vgl. d. Artikel „Chemische Verbindungen" 5), da bei dem Versuch, die Menge des einen der Produkte auf gewichts- oder maßanalytischem Wege zu ermitteln, Nachbildung aus den noch nicht umgesetzten Stoffen und somit Verschiebung des Gleichgewichts stattfindet. Und noch mehr tritt die Unzulänglichkeit der chemischen Methoden bei der Verfolgung des zeitlichen Verlaufs eines chemischen Vorgangs zutage, wenn auch in vielen Fällen, wie bei der Verseifung von Estern durch Wasser unter der katalytischen Beschleunigung von Wasserstoffionen (s. unter 12), maßanalytische Methoden zur Anwendung kommen.

Ueber die neuen Hilfsmittel und Methoden, die dem Chemiker mit der Entwickelung der physikalischen Chemie zugefallen sind, soll hier eine kurze Uebersicht geboten werden. Dabei verbietet es sich, auf die zahlreichen technischen Vervollkommnungen einzugehen, durch die der Analytiker in den Stand gesetzt ist, auch die ihm auf rein chemischem Gebiete zufallenden Aufgaben rascher und dabei mit größerer Präzision und Sicherheit auszuführen (vgl. den Artikel „Chemische Analyse" 36) und eventuell mit wesentlich kleineren Mengen durchzukommen (vgl. den Artikel „Mikrochemische Analyse").

2. Die zu Mengenbestimmungen verwertbaren Eigenschaften. Für den angegebenen Zweck, wobei also die Zusammensetzung nicht oder wenigstens nicht merklich geändert werden soll, eignen sich in erster Linie sogenannte spezifische Eigenschaften (wie Drehungsvermögen, Farbe, Leitvermögen), die praktisch allein dem gelösten Stoff eigentümlich sind. Es lassen sich aber auch sogenannte allgemeine Eigenschaften verwerten, die (wie Brechungsvermögen, spezifisches Gewicht, spezifische Wärme) auch für das Lösungsmittel einen endlichen Wert haben. Die Brauchbarkeit einer derartigen Eigenschaft wird, wie leicht einzusehen ist, vor allem durch den Unterschied im Zahlenwert dieser Eigenschaft für den gelösten Stoff und das Lösungsmittel bestimmt; in zweiter Linie hängt sie davon ab, ob die fragliche Eigenschaft genau, bequem und schnell ermittelt werden kann. Weiterhin ist die Einfachheit der Beziehung zwischen dem Unterschied im Wert einer Eigenschaft und der Konzentration maßgebend.

3. Spezifisches Gewicht und Aräometrie. Die Bestimmung des spezifischen Gewichts (vgl. den Artikel „Dichte") findet namentlich in der Praxis sehr ausgedehnte Anwendung. Und zwar erfolgt die Bestimmung

Digitized by Google

am bequemsten mit Hilfe der sogenannten Aräometer, die zum Teil so eingerichtet sind, daß der Gehalt direkt an der Skala abgelesen werden kann. Exakte Resultate können begreiflicherweise mit Hilfe dieser Methode nur erhalten werden, wenn andere Stoffe, die das spezifische Gewicht der Lösung ebenfalls beeinflussen, ausgeschlossen sind. Dann ist die Bestimmung des spezifischen Gewichts (besonders mit Hilfe der Westphalschen Wage oder mit dem Pyknometer) ein bequemes Verfahren zur Feststellung der Konzentration einer Lösung. Man kann (nach F. W. Küster und S. Münch, Z. f. anorg. Ch. **43**, 373, 1904) auf diesem Wege sogar maßanalytische Lösungen einstellen. — Das für die aräometrische Analyse erforderliche Tabellenmaterial (zur Ableitung des Gehalts) findet sich in dem Handbuch der Aräometrie von J. Domke und E. Reimerdes (Berlin 1912) zusammengestellt. Auch für die fortlaufende Untersuchung von Gasgemischen (mit Hilfe der Gaswage) sind Apparate in Anwendung, die auf der Bestimmung des spezifischen Gewichts beruhen. — Wie R. W. Thatcher (Journ. Am. Chem. Soc. **23**, 644, 1901) gezeigt hat, lassen sich auch hinreichend genaue Mengenbestimmungen von festen (gefällten) Stoffen ausführen durch Ermittelung des spezifischen Gewichts der Flüssigkeit über dem Niederschlage und des Gewichts von Niederschlag und Flüssigkeit zusammen, wenn das spezifische Gewicht des Niederschlags bekannt ist. Hier ist auch auf die Möglichkeit der Ausnutzung von Unterschieden im spezifischen Gewicht zur Trennung verwandter Stoffe (NaCl, KCl) hinzuweisen (s. H. Friedenthal, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **44**, 904, 1911).

4. Lichtbrechung und Refraktometrie. Die Bestimmung des Brechungsvermögens, die sich mit Hilfe der verschiedenen Konstruktionen nach Pulfrich oder mit dem Zeißschen Eintauchrefraktometer leicht und schnell ausführen läßt (vgl. auch den Artikel „Lichtbrechung"), findet sehr ausgedehnte Anwendung namentlich bei der Nahrungsmitteluntersuchung (s. H. Matthes, Ueber refraktometrisch-analytische Bestimmungsmethoden, Z. f. analyt. Chemie **43**, 73, 1904). Von B. Wagner (Sondershausen 1907) sind für viele Substanzen Tabellen zum Eintauchrefraktometer ausgearbeitet worden, die zur Ableitung der Konzentration dienen. Selbst zu so schwierigen Aufgaben wie die Ermittelung des Blutkörperchenvolumens durch Bestimmung der Aenderung der Lichtbrechung bei Zugabe von Blut zu einer Kochsalzlösung läßt sich das Refraktometer verwenden.— Für die Untersuchung von Gasgemischen eignet sich besonders das von F. Haber und F. Löwe nach dem Rayleighschen Prinzip konstruierte sogenannte Interferometer (Z. f. angew. Ch. **23**, 1393, 1910). Ueber die Verwendung dieses Instruments zur technischen Rauchgasanalyse s. O. Mohr (Z. f. angew. Ch. **25**, 1313, 1912).

5. Optisches Drehungsvermögen und Polaristrobometrie. Diese Eigenschaft, die nur den optisch aktiven Stoffen (die ein oder mehrere sogenannte asymmetrische Kohlenstoffatome enthalten; vgl. den Artikel „Drehung der Polarisationsebene") eigentümlich ist, findet namentlich in der Saccharimetrie ausgedehnte Anwendung. Näheres über weitere Anwendungsmöglichkeiten der polaristrobometrischen Analyse s. bei H. Landolt, „Das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen und dessen Anwendung" (2. Aufl., Braunschweig 1898).

6. Farbe, Absorption, Emission, Spektralanalyse und Verwandtes. Auf der Vergleichung der Farbe zweier Lösungen desselben farbigen Stoffs beruhen die Kolorimeter. Wenn auf Gleichheit der Farbe eingestellt ist, stehen die Konzentrationen in den beiden Zylindern im umgekehrten Verhältnis der Schichthöhen, so daß also die Konzentration der einen Lösung kolorimetrisch bestimmt werden kann. Die kolorimetrische Analyse kann auch auf solche farblose Stoffe ausgedehnt werden, die mit anderen, wie salpetrige Säure mit Jodzinkstärkelösung, eine farbige Lösung geben. So findet das Kolorimeter z. B. Anwendung zur Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration unter Zugabe geeigneter Indikatoren (s. z. B. bei S. P. L. Sörensen bei seinen Studien über Enzyme, Comptes Rendus des travaux du Laboratoire de Carlsberg **8**, 1909, Kopenhagen). Näheres über Instrumente und Anwendungen der kolorimetrischen Analyse bei Krüß, „Kolorimetrie und quantitative Spektralanalyse" (2. Aufl., Hamburg und Leipzig 1909). Eine neue sehr brauchbare Konstruktion ist das Kolorimeter von W. Autenrieth und Joh. Koenigsberger (Z. f. angew. Ch. **25**, 1168, 1912). — Genauere Ergebnisse werden durch die Bestimmung der Lichtabsorption für bestimmte Strahlen, die durch den Stoff absorbiert werden, erzielt (Absorptionsspektralanalyse). Die Bestimmung der Absorption für ultraviolette Strahlen findet namentlich Anwendung zu Konstitutionsbestimmungen. Ebenso lassen sich nach E. Warburg und G. Leithäuser (Ann. d. Physik [4] **28**, 313, 1909) manche Stoffe, wie die Oxyde des Stickstoffs, die in diesem Gebiete intensive Absorptionsstreifen besitzen, qualitativ und quantitativ durch Aufnahme der Absorptionsstreifen im Ultrarot bestimmen.

Als quantitative auf der Lichtemission beruhende Methode mag hier das kürzlich

Digitized by Google

von W. Hempel und Ralph L. von Klemperer (Z. f. angew. Ch. **23**, 1756, 1910) bearbeitete Verfahren der Kaliumbestimmung Erwähnung finden, das sich besonders zur Bestimmung des Kaliumgehalts im Ackerverwenden läßt.

In das Gebiet der Spektralanalyse gehört ferner die Untersuchung des Verhaltens von Chemikalien beim Bestrahlen mit ultraviolettem Licht (Lumineszenzanalyse) mit Hilfe des von Lehmann (Z. f. angew. Ch. **25**, 1110, 1912) konstruierten Apparats, wobei die sichtbaren und ultraroten Strahlen durch ein geeignetes Filter absorbiert werden. Dieser Apparat bedeutet eine sehr wertvolle Bereicherung der Hilfsmittel, die dem Chemiker für die Erkennung von geringfügigen Verunreinigungen und für die Untersuchung der Struktur fester Stoffe (Mineralien) zur Verfügung stehen.

In diesem Zusammenhang sei schließlich noch auf die von Hinds (Chem. News **73**, 285, 1896; Journ. Amer. Chem. Soc. **22**, 269, 1900) erprobte photometrische Methode der Bestimmung von $Ca^{··}$ (als CaC_2O_4) und SO_4'' (als $BaSO_4$) hingewiesen und auf das von Th. W. Richards (Am. Chem. Journ. **31** 235, 1904) konstruierte Nephelometer bei welchem die Mengenbestimmung auf die Ermittelung der Schichthöhen zweier Suspensionen desselben Stoffs hinausläuft, von denen gleichviel Licht reflektiert wird.

7. Leitvermögen und Telephonanalyse u. a. Durch die Messung des Leitvermögens nach der von Kohlrausch ausgearbeiteten Methode unter Anwendung von Wechselstrom lassen sich leicht und schnell Ionenkonzentrationen bestimmen. Diese Methode findet daher Anwendung zur Bestimmung der Löslichkeit schwer löslicher Stoffe, wobei die Menge des undissoziierten Salzes vernachlässigt oder geschätzt werden kann. Uebrigens ist sie auch bei Lösungen von komplizierterer Zusammensetzung, beispielsweise (nach Ruppin, Z. f. anorg. Ch. **49**, 190, 1906), auf die Bestimmung des Salzgehaltes von Meerwasser, anwendbar. — In analytischer Beziehung hat die Messung des Leitvermögens (und zwar ihre Aenderung in Abhängigkeit von der Menge des zugesetzten Stoffs) besondere Bedeutung erlangt für die exakte Festlegung des Neutralitätspunktes (s. F. W. Küster und M. Grüters, Z. f. anorg. Ch. **35**, 454, 1903 und **42**, 225, 1904) und für die Titration von Säuren oder Basen, wenn sich die Anwendung eines Indikators verbietet (wegen zu großer Verdünnung oder bei zu geringer Stärke des einen der reagierenden Stoffe oder bei Gegenwart farbiger Stoffe) wie auch zur Titration fällbarer Stoffe (s. P. Dutoit, Physikalisch-chemische Maßanalyse, Journ. de Chim. phys. **8**, 12 und 27, 1910 und Bull. Soc. Chim. de France [4] **7**, I—XXXIX). Auch in der quantitativen Analyse, nämlich zur Ermittelung des Mengenverhältnisses bei verwandten Salzen ($KCl + KBr$, $KCl + KJ$, $KBr + KJ$, $K_2SO_4 + Rb_2SO_4$) nach dem Prinzip der indirekten Analyse (vgl. den Artikel „Chemische Analyse, anorganische Analyse", **34**) kann die Messung des Leitvermögens erfolgreiche Anwendung finden, wenn gleichprozentige Lösungen der einzelnen Salze einen hinreichend großen Unterschied im Leitvermögen zeigen (s. H. Erdmann, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **30**, 1175, 1907). — Eine originelle Anwendung der Messung des Leitvermögens macht J. Donau (Monatshefte f. Chemie **27**, 59, 1906), indem er sehr kleine Mengen von Gold- und Palladiumsalzen durch CO zu Metall reduziert und die dadurch bedingte Zunahme des elektrischen Leitvermögens ermittelt.

In diesem Zusammenhang ist auch die von A. Koepsel (Verh. d. Phys. Ges. **10**, 814, 1908 u. **11**, 237, 1909) bearbeitete „Methode zur fortlaufenden Untersuchung von Gasgemischen auf elektrischem Wege mit Anwendung auf die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit von Gasen" zu erwähnen. Die Methode, welche noch 0,001 % Wasserstoff nachzuweisen gestattet, beruht auf der Tatsache, daß zwei gleichartige sehr dünne Nickel- (oder Silber-) drähte, die von dem gleichen Strom durchflossen und auf zirka 320° erhitzt werden, eine verschiedene Temperaturänderung erfahren und infolgedessen einen Unterschied im elektrischen Widerstand zeigen, wenn sie von verschiedenen Gasen oder Gasgemischen mit verschiedenem Wärmeleitungsvermögen umspült werden. Der Temperaturänderung, die von der Zusammensetzung des Gases abhängt, entspricht eine bestimmte Aenderung des elektrischen Widerstands. Wenn dieser Zusammenhang einmal ermittelt ist, läßt sich aus der beobachteten Aenderung des Widerstands (Leitvermögens) die Zusammensetzung des Gases ableiten oder eine Aenderung in der Zusammensetzung erkennen, wenn fortlaufende Beobachtungen gemacht werden.

8. Potentialmessungen und elektrometrische Analyse. Durch Potentialmessungen lassen sich die Konzentrationen der Ionen aller Metalle und Nichtmetalle bestimmen, die beim Eintauchen in eine Lösung eines ihrer Salze definierte Potentiale geben. Dies gilt auch für solche Ionen, für die es direkt keine Elektroden gibt, welche aber mit dem Ion eines elektromotorisch wirksamen Metalls schwer lösliche Salze bilden (Elektroden 2. Art.). Wegen der logarithmischen Abhängigkeit der Poten-

Digitized by Google

tiale von der Ionenkonzentration müssen für genaue Konzentrationsbestimmungen die Messungen der Potentiale hinreichend genau ausgeführt werden. Auch auf die geeignete Beschaffenheit der Elektroden ist Gewicht zu legen. — Um Mengenbestimmungen auszuführen (elektrometrische Analyse) benutzt man eine Kombination von zwei gleichen Elektroden, die in Lösungen von gleicher Zusammensetzung tauchen und die demgemäß zunächst keine elektromotorische Kraft zeigt. Wenn dann die Konzentration des Ions in der einen Lösung vermindert wird durch Zugabe eines Stoffs, der mit dem Ion der Elektrode (oder bei unangreifbaren Elektroden — mit einem an der Potentialbildung beteiligten Ion) reagiert, tritt eine elektromotorische Kraft auf. In dem Maße, wie die Konzentration des maßgebenden Ions abnimmt infolge Bildung eines wenig dissoziierten Stoffs (wie bei der Neutralisation vgl. den Artikel „Chemische Analyse, anorganische Analyse", **14**) oder eines wenig löslichen Stoffs (wie bei Fällungsanalysen; s. ebenda **25**) oder durch Ueberführung in eine andere Wertigkeitsstufe (wie bei der Oxydimetrie und Jodometrie; s. ebenda **22** u. **24**), steigt die elektromotorische Kraft an und zwar um so stärker, je mehr sich die zugesetzte Menge der äquivalenten nähert, weil durch einen gleichen Zusatz von Titrierflüssigkeit eine immer beträchtlichere relative Aenderung der Ionenkonzentration hervorgebracht wird. Das Ansteigen der elektromotorischen Kraft setzt sich noch fort, wenn der äquivalente Betrag überschritten wird. Die Zunahme wird aber schließlich wieder kleiner und kleiner, weil die Konzentration des maßgebenden Ions schließlich nur noch unerheblich verkleinert wird. Die Menge der verbrauchten Titrierflüssigkeit wird mit Hilfe der Kurve abgeleitet, die sich ergibt, wenn die elektromotorische Kraft als Funktion des zugegebenen Volumens aufgetragen wird. Statt mit zwei gleichen Elektroden zu arbeiten, kann man auch die eine durch eine geeignete Normalelektrode ersetzen. Man beginnt dann mit einer von Null verschiedenen elektromotorischen Kraft und verfolgt deren Verlauf bei Zugabe der Titrierflüssigkeit zu der Flüssigkeit, in welche die andere Elektrode taucht. Auf diese Weise lassen sich auch Nichtelektrolyte bestimmen, wenn nur die Reaktion mit dem maßgebenden Ion rasch genug erfolgt und sofern es eine Elektrode gibt, welche die Konzentrationsänderungen des Ions scharf anzeigt. — Dieses Verfahren ist zweifellos viel komplizierter als das der gewöhnlichen maßanalytischen Bestimmung, aber es bietet den Vorteil, daß es auf sehr verdünnte Lösungen anwendbar ist, wo die maßanalytische Bestimmungsweise völlig versagt, und daß in einem Versuche mehrere Bestimmungen ausführbar sind (s. R. Behrend, Z. f. physik. Chemie **11**, 766, 1893, W. Böttger, ebenda **24**, 252, 1897; Crotogino, Z. f. anorg. Ch. **24**, 225, 1900 und besonders P. Dutoit und G. von Weiße, Journ. de Chimie phys. **9**, 578, 608 und 630, 1911).

9. Radioaktivität. Zu den neueren Hilfsmitteln für den Analytiker gehören auch die Methoden zur Bestimmung der Radioaktivität und des Emanationsgehalts von Gesteinen, Mineralwässern und Sedimenten. Es verbietet sich, hier auf die Ausführung derartiger Bestimmungen einzugehen; es kann vielmehr nur auf einige Spezialwerke verwiesen werden: Mme Curie, „Die Radioaktivität" (Leipzig 1912), Soddy, „Radioaktivität" (Leipzig 1904), (vgl. auch den Artikel „Radioaktivität") und auf wichtigere einschlägige Untersuchungen: C. Engler, „Ueber die Radioaktivität der Thermalquellen von Baden-Baden" (Zeitschr. f. Elektroch. **11**, 614, 1905), F. Henrich, „Ueber die Radioaktivität des Wassers der Thermalquellen von Wiesbaden" (Z. f. anorg. Ch. **65**, 117, 1910), F. Henrich u. F. Glaser, „Ueber die gebräuchlichen Apparate zur Bestimmung der Radioaktivität von Quellen" (Zeitschr. f. angew. Ch. **25**, 16, 1912), E. Ebler und M. Fellner, „Zur Kenntnis der Radioaktivität von Mineralquellen" (Z. f. anorg. Ch. **72**, 233, 1911) und A. Gockel, „Die Radioaktivität von Gesteinen" (Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik **7**, 487, 1910).

10. Positive Strahlen. Diese Methode, die einen besonders tiefen Einblick in das Wesen chemischer Gebilde und den Mechanismus chemischer Vorgänge zu geben verspricht, ist von J. J. Thomson, „Eine neue Methode der chemischen Analyse" (Jahrb. für Radioaktivität und Elektronik **8**, 226, 1911) ersonnen und erprobt worden. Dieselbe beruht darauf, daß die sogenannten positiven Strahlen, die von Neutralpaaren abdissoziiert werden, nach dem Durchgange durch elektrische und magnetische Felder parabolische Kurven geben, deren Verlauf durch eine in das Entladungsrohr gebrachte photographische Platte aufgenommen werden kann. Mit Hilfe dieser Methode können außerordentlich kleine Mengen, bei welchen die Spektralanalyse versagt, erkannt werden. Und aus den Linien des (magnetischen) Spektrums kann mit großer Genauigkeit das Atomgewicht der Träger und damit die Natur der vorhandenen Teilchen erkannt werden, die diese Linien hervorbringen. So hat Thomson festgestellt, daß Sauerstoff acht verschiedene (geladene und ungeladene) Arten von Teilchen enthält, wenn ein elektrischer Strom hindurchgeht.

Digitized by Google

11. Thermische Analyse. Unter dieser Bezeichnung versteht man das Verfahren, bei welchem man aus dem Verlauf der Abkühlungs-Zeit-Kurve Aufschluß über die Vorgänge beim Erstarren und über die Natur der Abscheidungsprodukte gewinnen kann (s. den Artikel „Chemisches Gleichgewicht" 11). Der Verlauf der Kurve läßt nämlich erkennen, ob in dem Gebilde während der Abkühlung Zustandsänderungen unter Entwickelung von Wärme stattgefunden haben. Das Verfahren ist vor allem von G. Tammann (Z. f. anorg. Ch. **37**, 303, 1903; **45**, 29 und **47**, 289, 1905) und seinen Schülern ausgebildet und angewendet worden. Es eignet sich besonders zum Studium von Objekten, die bei sehr hohen oder sehr tiefen Temperaturen schmelzen, bei denen aus diesem Grunde, oder auch wegen zu großer Zähigkeit, eine Abtrennung von festen Abscheidungen nicht durchführbar ist, wie bei vielen Legierungen und Mineralien.

12. Katalytische Wirkungen. Katalytische Wirkungen können für die Analyse in zwei Richtungen in Betracht kommen. Wenn, wie bei vielen Wirkungen des Wasserstoffions, Proportionalität zwischen der Geschwindigkeit und der Konzentration des Wasserstoffions besteht, kann man aus dem zeitlichen Verlauf derartiger Vorgänge Aufschluß über die Konzentration des Wasserstoffions gewinnen. Derartige Vorgänge sind die Inversion von Rohrzucker (über die Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration s. W. Palmaer, Z. f. physik. Chemie **22**, 492, 1897), die Katalyse von Methylacetat oder die nach G. Bredig und W. Fraenkel (Z. f. Elektroch. **11**, 525, 1905) gegen Wasserstoffion sehr empfindliche Zersetzung des Diazoessigsäureäthylesters (unter Beteiligung von Wasser in Glycolsäureester und Stickstoff: $N_2CH.CO_2.C_2H_5 + H_2O = N_2 + (OH)CH_2.CO_2C_2H_5$). Weiterhin lassen sich katalytische Wirkungen (namentlich der Platinmetalle) auch für analytische Zwecke verwerten, wie nach Cl. Winkler Palladiumasbest zur Bestimmung von Wasserstoff in einem Gemisch mit Methan. Ebenso dürften sich auch, wie für präparative Zwecke, Möglichkeiten der Verwertung der Bredigschen Platinflüssigkeit oder der nach Paal hergestellten kolloidalen Metalle der Platingruppe für die Analyse ausfindig machen lassen.

13. Adsorptionsanalyse. Die Erscheinung, daß zwei gelöste Stoffe in einem Filtrierpapierstreifen verschieden hoch steigen, also auf diese Weise getrennt werden können, ist schon von Schönbein für analytische Zwecke verwertet worden. Dessen Schüler, Fr. Goppelsroeder, hat seine seit 1861 durchgeführten, außerordentlich umfangreichen Studien über das Verhalten zahlreicher Stoffe unter dem Titel „Kapillaranalyse" „Studien über die Anwendung der Kapillaranalyse bei Harnuntersuchungen und vitalen Tinktionsversuchen" und „Neue Kapillar- und kapillaranalytische Untersuchungen" in den Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel (Band XIV 1901, XVII, 1904, XIX, 1907) veröffentlicht. Ein Auszug aus den Publikationen dieses Forschers ist auch in der Kolloid-Zeitschrift (Band IV bis VI) erschienen (s. auch „Anregung zum Studium der auf Kapillaritäts- und Adsorptionserscheinungen beruhenden Kapillaranalyse" von Fr. Goppelsroeder, Basel 1906). — Aus neuerer Zeit ist hier besonders eine Studie von A. Krulla (Z. f. physik. Chem. **66** 307, 1909) zu erwähnen. Dieser Forscher konnte eine Formel aufstellen, die den Zusammenhang zwischen Papiergattung, gelöstem Salz, dessen Konzentration und der Steighöhe ausdrückt. Und weiter wird eine Formel mitgeteilt, nach der sich quantitative Gehaltsbestimmungen bei Laugen und Abwässern ausführen lassen. Auf Gemische ist dieselbe allerdings nur anwendbar, wenn es sich um Salze handelt, die kein Ion gemeinsam haben.

Eine andere Art der Adsorptionsanalyse, bei der besondere Adsorptionsfilter mit selbsttätiger Unterbrechung zur Anwendung kommen, hat H. Wislicenus (Ueber die faserähnliche gewachsene Tonerde — Fasertonerde — und ihre Oberflächenwirkungen; Kolloid-Zeitschrift **2**, Supplementheft I, S. VIII und Heft II, S. XI, 1910) ausgearbeitet und auf Untersuchung von Pflanzen-, Gerb-, Farb- und Drogenextrakte und künstliche Farbstoffwaren „zur Untersuchung auf ihren Gehalt an adsorbierbaren (Kolloiden) und nicht adsorbierbaren (kristalloiden) Bestandteilen" angewendet.

In das Gebiet der Adsorptionsanalyse gehören auch die Beobachtungen, die S. Keisermann beim Studium des Hydratations- und Erhärtungsvorgangs von Portlandzement (Kolloidchem. Beihefte **1**, 431, 1910) über die auswählende Aufnahme von Farbstoffen (nämlich von Anthrapurpurin aus alkalischer Lösung durch Kalk, von Methylenblau aus neutraler oder saurer Lösung durch freie amorphe Kieselsäure und von Patentblau aus alkalischer Lösung durch Tonerde) gemacht hat. Ebenso ist hier das bekannte Verfahren, die sogenannte „Eosinprobe", von F. Mylius zu erwähnen, nach welchem Gläser auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Flüssigkeiten (im besonderen Wasser) geprüft werden können, über dessen Ausübung der genannte Forscher in neuerer Zeit ausführliche Mitteilungen gemacht hat (Z. f. anorg. Ch. **55**, 233, 1907 und **67**, 200, 1910).

Daß ferner die Adsorption eine wichtige Rolle bei der Abscheidung gelöster Stoffe

Digitized by Google

zum Zwecke der Erkennung oder Bestimmung spielt, dafür finden sich Angaben bei G. Lockemann „Ueber die Adsorption von Arsen durch Eisenhydroxyd" (Verh. d. Ges. Deutscher Naturforscher und Aerzte zu Königsberg 1910, 2. Teil S. 25) und E. Ebler und M. Fellner „Ueber die Adsorption radioaktiver Substanzen durch Kolloide; Methoden zur Anreicherung und Isolierung radioaktiver Substanzen" (Z. f. anorg. Chem. 73, 1, 1912).

Literatur. *Außer in den im Text genannten Abhandlungen und Büchern finden sich weitere Angaben und Ergänzungen zu obigen bei* **V. Samter**, *Analytische Schnellmethoden, Halle 1911 und in Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt und in Mitteilungen des Kgl. Materialprüfungsamts Großlichterfelde. Ueber die Bedeutung der physikalischen Chemie für die chemische Analyse s. auch* **Hinrichsen**, *Die Untersuchung von Eisengallustinten, Band 6 der Sammlung „Die chemische Analyse", Stuttgart 1909. —* **W. Böttger**, *Stand und Wege der analytischen Chemie, Bd. 13, dieser Sammlung, Stuttgart 1911. —* **E. Wilke-Dörfurt**, *Ueber die Entwickelung der analytischen Chemie (Zeitschr. f. Elektroch. 17, 623, 1911).*

W. **Böttger.**

Physikalische Chemie.

Von E. du Bois-Reymond ist im Jahre 1882 der Ausspruch getan worden: „Im Gegensatz zur modernen Chemie kann man die physikalische Chemie die Chemie der Zukunft nennen." Und zwar ist es im besonderen die mathematisch-mechanische Darstellung von chemischen Erscheinungen, deren Lösung du Bois-Reymond von der physikalischen Chemie erhofft.

Es wäre müßig, hier die Frage aufzuwerfen, ob die Erwartungen, die man an die Bearbeitung chemischer Probleme unter mathematisch-physikalischen Gesichtspunkten geknüpft hat, in Erfüllung gegangen sind. — Die Ansichten über die Tragweite der Leistungen der physikalischen Chemie gehen begreiflicherweise weit auseinander. Dagegen läßt sich mit aller Bestimmtheit sagen, daß diese Forschungsrichtung seit jener Zeit, wie der große und immer wachsende Umfang der physikalisch-chemischen Literatur erkennen läßt, außerordentlich an Ausdehnung gewonnen hat, so daß die Chemiker, die der physikalischen Chemie fern stehen oder sie für eine vorübergehende oder gar überwundene Forschungsrichtung halten, entschieden in der Minderheit sind.

Eine physikalische Chemie als besondere in dem Sinne von du Bois-Reymond betriebene Wissenschaft gibt es erst seit einigen Jahrzehnten. Sie ist hervorgegangen aus den Leistungen von Männern wie Faraday, Berthollet, Mitscherlich, Bunsen, Kirchhoff, Kohlrausch, Helmholtz, Hittorf, Kopp, Loth. Meyer, Mendelejeff, Guldberg, Waage, Thomsen, G. Wiedemann u. a., die der Physik ebenso nahe gestanden haben wie der Chemie und die demgemäß Probleme bearbeitet haben, die zu beiden Disziplinen in Beziehung standen. Seit der ungewöhnlich raschen Entwickelung der Naturwissenschaften, namentlich der Physik und Chemie, aus denen zwei große Gebiete mit einzelnen, sehr genau erforschten, aber zum Teil voneinander durch unbekannte Landstriche getrennten Provinzen entstanden sind, ist die Beherrschung beider Wissenschaften geradezu zur Unmöglichkeit geworden. Gleichzeitig ist aber eine neue, die angrenzenden Provinzen umfassende Wissenschaft, eben die physikalische Chemie, erstanden.

Die Pflege dieser neuen Disziplin ist von der Erkenntnis ausgegangen, daß viele „Verallgemeinerungen über die Eigenschaften der Materie nicht nur von den Massen oder den Bewegungsgeschwindigkeiten der betrachteten Gegenstände abhängen, sondern auch von ihrer Zusammensetzung", d. h. ihrer chemischen Natur (Ramsay). Demgemäß nimmt die Entwickelung der physikalischen Chemie zu einer selbständigen Wissenschaft ihren Ausgang in den Bemühungen um die Ermittelung der Gesetze, nach denen die Wirksamkeit chemischer Stoffe vor sich geht, und von der Anwendung der Thermodynamik auf die Fragen, die sich an den Zustand gelöster Stoffe knüpfen, also von der durch van 'tHoff erkannten Uebertragbarkeit der Avogadroschen Regel auf gelöste Stoffe und von der durch Arrhenius gegebenen Deutung der Abweichungen von jener Fundamentalbeziehung bei den wässerigen Lösungen salzartiger Stoffe. Daß diese Erkenntnisse alsbald ihre volle Tragweite erlangt und zu einer besonderen Wissenschaft geführt haben, ist vor allem das Verdienst W. Ostwalds, der durch die Begründung der Zeitschrift für physikalische Chemie (1887) die nach der bezeichneten Richtung gehenden Arbeiten zur Geltung brachte, nachdem er in dem bereits zwei Jahre vorher erschienenen Lehrbuch der allgemeinen Chemie die zahlreichen Beobachtungen und Erkenntnisse der früheren Generationen zu einem einheitlichen Ganzen verarbeitet hatte. Ostwald kommt weiter das Verdienst zu, der physikalischen Chemie durch eigene Untersuchungen über die chemische Affinität und durch seine elektrochemischen Studien eine breitere Basis gegeben zu haben, während man Nernst die

Digitized by Google

Lösung des alten Problems des Mechanismus der galvanischen Stromerzeugung verdankt.

Das Grundproblem, welches die weitere Entwickelung der physikalischen Chemie beherrscht, betrifft die Erforschung des Wesens der chemischen Energie und ihrer Wandlung in andere Energiearten. Demgemäß sind die weiteren grundlegenden Arbeiten auf das Studium des Mechanismus und des zeitlichen Verlaufs (Kinetik) chemischer Vorgänge und dessen willkürliche Beeinflussung (Katalyse) und auf die Ermittelung der bei einem Vorgange umgesetzten Energiebeträge und zwar speziell der Aenderung der freien Energie gerichtet. Je nach der Energieart, die bei einem chemischen Vorgange in Erscheinung tritt, haben sich bereits besondere Teilgebiete entwickelt wie Elektrochemie, Thermochemie und chemische Thermodynamik, Photochemie, Mechanochemie und Kolloidchemie (d. i. die Chemie der Gebilde, bei denen große Oberflächen zur Geltung kommen), über die in den entsprechenden Artikeln nachzulesen ist.

Außerdem fallen in das Gebiet der physikalischen Chemie die mehr von experimentellen Gesichtspunkten geleiteten Arbeitsrichtungen, durch die neue Hilfsmittel und Methoden der Physik für die Bearbeitung chemischer Probleme und umgekehrt dienstbar gemacht werden (wie das Studium chemischer Vorgänge bei sehr hohen und tiefen Temperaturen oder von Reaktionen zwischen festen oder sehr zähen flüssigen Phasen) und die Anwendung physikalischer Methoden auf analytische (vgl. auch den Artikel „Physikalisch-chemische Analyse") und synthetische Aufgaben des Chemikers.

Literatur. ***H. Bauer***, *Geschichte der Chemie, Sammlung Göschen Nr. 265. Leipzig 1906.* — ***E. v. Meyer***, *Geschichte der Chemie, 4. Aufl. Leipzig 1905.* — ***Sir W. Ramsay***, *Einleitung in das Studium der physikalischen Chemie. Deutsch von Max Iklé. Leipzig 1908.*

W. Böttger.

Physikalische Größen.

1. Bedeutung von Maß und Zahl in der Physik. 2. Funktionelle Beziehungen zwischen physikalischen Größen. Variable. Konstante. 3. Gerichtete Größen. Vektoren. Skalare. Betrag des Vektors. Einheitsvektor. 4. Addition und Subtraktion von Vektoren. 5. Rechtwinkliges Koordinatensystem. Komponenten. Grundvektoren. Rechtssystem. Linkssystem. 6. Polare und axiale Vektoren. 7. Vektorielles und skalares Produkt. 8. Beispiel. 9. Tensoren. 10. Vektorfelder. Vektorlinien. Skalare Felder. Niveauflächen. Lamellare Felder. Solenoidale Felder. 11. Zeitliche und räumliche Aenderungen von Vektoren.

1. Bedeutung von Maß und Zahl in der Physik. Eine Zahl kann im einfachsten Falle als das Resultat eines Abzählens von Gegenständen einer bestimmten Gruppe auftreten. Hierbei kommt es auf einen Vergleich zwischen den Gegenständen nicht an. Nun ist aber gerade die messende Physik bestrebt einen solchen Vergleich zu liefern, und da dieser durch Anwendung von Zahlen in exakter Weise ermöglicht wird, so ergibt sich hieraus unmittelbar die Bedeutung der Zahl für die Physik. Die Zahl tritt hierbei als Resultat einer Messung auf (vgl. den Artikel „Maß und Messen") und gibt uns das Verhältnis der gemessenen Größe zu derjenigen Bezugsgröße, die als Einheit bei der Messung angenommen war, an.

Ist z. B. die gemessene Länge einer Strecke gleich 10 m, so besagt uns hierbei die Zahl 10, daß diese Strecke 10 mal größer ist, als das als Einheit angenommene Meter. Analoges besagt uns 100 ccm bei der Messung eines Volumens oder 1000 g bei der Messung einer Masse usw. Der entsprechende Zusatz (Meter, Kubikzentimeter, Gramm usw.) definiert hierbei die angenommene Einheit. Ein solcher Zusatz hat im allgemeinen eine Dimension (vgl. den Artikel „Maß und Messen") und bildet zusammen mit der entsprechenden Zahl ein Maß für die von uns gemessene Größe.

2. Funktionelle Beziehungen zwischen physikalischen Größen. Variable. Konstante. Bei der Beobachtung einer gewissen Erscheinung werden wir im allgemeinen bemerken, daß diese von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Bei Aenderung der letzteren ändert sich auch die Erscheinung. Verfolgen wir nun diese letztere messend, indem wir ihr eine bestimmte Größe z. B. z zuschreiben und ebenfalls den entsprechenden Faktoren z. B. x, y usw., so können wir obige Abhängigkeit der Erscheinung von den Faktoren kurz dadurch ausdrücken, daß wir sagen z sei eine Funktion von x und y (vgl. den Artikel „Maß und Messen"). Mathematisch drücken wir dies aus, indem wir schreiben $z = f\,(y, x)$, wo f das sogenannte Funktionszeichen ist. Die Eindeutigkeit der Erscheinung vorausgesetzt, folgt hieraus für bestimmte Werte von y und x ein ganz bestimmter Wert von z. Bei Aenderungen von y und x, ändert sich auch z. Alle drei Größen sind demnach variabel, aber da sie voneinander abhängig sind, so können wir nicht allen dreien zugleich willkürliche Werte beilegen, sondern, wie wir gesehen haben, nur zweien von ihnen. Welche von den Variabeln wir als willkürlich oder unabhängig auffassen wollen,

hängt von unserer Wahl ab, und diese wird je nach den Umständen getroffen. In der obigen Gleichung $z = f(y, x)$ sind y und x als unabhängige Variable anzusehen. Lösen wir nun diese Gleichung z. B. in bezug auf y auf, so erhalten wir $y = \psi(z, x)$ und haben dann z und x als unabhängige Variable zu betrachten.

Z. B. ist der Druck p eines Gases abhängig von seiner absoluten Temperatur T und seinem Volumen v. Wir können demnach schreiben $p = f(v, T)$. Es wird also einer bestimmten Temperatur und bestimmtem Volumen ein ganz bestimmter Druck entsprechen.

Nun zeigt die Beobachtung, daß bei den sogenannten idealen Gasen das Produkt pv bei konstanter Temperatur konstant ist. D. h. $pv = k =$ konst. bei konstantem T. Beobachten wir bei einer anderen Temperatur, so ergibt sich für $k = pv$ ein anderer Wert und zwar zeigt die Beobachtung daß k proportional T ist. Wir können demnach schreiben $pv = RT$, wo R einen Proportionalitätsfaktor bedeutet, welcher unabhängig von p, v und T ist und demnach konstant (die sogenannte Gaskonstante). Zugleich haben wird hiermit die explizite Form von $p = f(v, T) = \frac{RT}{v}$ gefunden.

Nun wissen wir, daß Gleichheit zwischen zwei Größen nur dann bestehen kann, wenn diese Größen von gleicher Dimension sind (vgl. den Artikel „Maß und Messen"). Da nun $R = \frac{pv}{T}$ ist, so ersehen wir hieraus, daß R dieselben Dimensionen besitzen muß wie $\frac{pv}{T}$. D. h. obwohl R eine Konstante ist, so ist doch ihr Zahlenwert von den Einheiten abhängig, die wir bei der Messung von p, v und T zugrunde gelegt haben.

Ein weiteres Beispiel für das Auftreten solcher Konstanten haben wir in dem Newtonschen Gravitationsgesetze. Dasselbe besagt uns, daß die Kraft k, mit welcher sich zwei Massen m_1 und m_2, die sich in einer Entfernung r voneinander befinden, anziehen, proportional dem Produkt $m_1\,m_2$ und umgekehrt proportional r^2 ist. Wir können deshalb schreiben $k = \gamma\,\frac{m_1\,m_2}{r^2}$, wo wieder γ der konstante Proportionalitätsfaktor ist. Derselbe hängt auch hier von den gewählten Einheiten für k, m und r ab.

Es wird also im allgemeinen der Zahlenwert einer Konstante von den gewählten Grundeinheiten abhängen und wir können, falls wir letztere ändern, den Konstanten beliebige Zahlenwerte erteilen.

Von obigen Konstanten, die einen mehr universellen Charakter aufweisen, sind zu unterscheiden solche, die eine bestimmte Eigenschaft eines bestimmten Materials charakterisieren. Messen wir z. B. die Wärmemenge Q, die während der Zeit t durch den Querschnitt s einer Platte aus einem bestimmten Material von der Dicke d strömt, wobei die Differenz der Temperaturen auf beiden Seiten der Platte gleich $T_2 - T_1$ ist. Es ergibt sich, daß Q proportional s, t und $T_2 - T_1$ ist und umgekehrt proportional d. D. h. $Q = c . \frac{s . t . (T_2 - T_1)}{d}$. Der hier auftretende Proportionalitätsfaktor c, dessen Zahlenwert ebenfalls von den gewählten Einheiten für Q, s, t, T und d abhängen wird, variiert außerdem von Material zu Material und charakterisiert demnach eine bestimmte Eigenschaft des letzteren (in unserem Falle die Wärmeleitfähigkeit). Solche Materialkonstanten sind z. B. die Elastizitätskonstanten, Schallgeschwindigkeit, Leitfähigkeit, Brechungsexponent usw. Es sei hier noch hinzugefügt, daß bei Benutzung solcher Materialkonstanten es nicht allein genügt, die gewählten Einheiten zu kennen, sondern es müssen bei gegebenem Wert der betreffenden Konstanten auch diejenigen Bedingungen genau angegeben sein, bei welchen die Konstante ermittelt worden war. So genügt z. B. nicht zu wissen, daß die Schallgeschwindigkeit v in der Luft gleich 331 m pro sec. ist, sondern es muß noch hinzugefügt werden, daß sich diese Zahl auf eine Temperatur von 0° C und einen Druck von 760 mm Quecksilbersäule bezieht. Ebenso hängt der Brechungsexponent von der Wellenlänge, vom Druck, von der Temperatur ab, usw.

3. Gerichtete Größen. Vektoren. Skalare. Betrag des Vektors. Einheitsvektor. Aus dem Vorhergehenden ergibt sich, daß zur Charakterisierung einer physikalischen Größe die Angabe einer Zahl mit dem entsprechenden Zusatz, welcher die angenommene Einheit definiert, genügt. In vielen Fällen wird dies aber nicht ausreichen. Es bewege sich z. B. ein Punkt in horizontaler Richtung mit der Geschwindigkeit 10 cm pro sek. und ein anderer in vertikaler Richtung mit einer Geschwindigkeit von 20 cm pro sek. Um nun einen Vergleich zwischen den Bewegungen beider Punkte zu geben, genügt es nicht einfach zu sagen, die Geschwindigkeit des zweiten ist doppelt so groß als die des ersten. Der Vergleich wird nur vollständig, falls wir noch die Richtungen der Geschwindigkeiten beider Punkte angeben, die in unserem Beispiele nicht zusammenfallen.

Dieses und ähnliche Beispiele führen dazu die in der Physik vorkommenden Größen in zwei Klassen einzuteilen. Zu der einen Klasse gehören diejenigen Größen, die keine bestimmte Richtung im Raume be-

Digitized by Google

sitzen. Diese werden **Skalare** genannt. Solche sind z. B. Dichte, Energie, Masse, Volumen usw. Die andere Klasse umfaßt alle Größen, die eine bestimmte Richtung im Raume aufweisen, z. B. Kraft, Geschwindigkeit, Beschleunigung usw. Eine solche Größe nennt man einen **Vektor**. Ein Vektor ist demnach charakterisiert nicht nur durch eine bestimmte, mit einer Dimension behaftete Zahl, sondern außerdem noch durch seine Richtung im Raum.

Den Zahlenwert eines Vektors nennt man den **Betrag** des Vektors.

Ein Vektor kann durch eine Strecke dargestellt werden, deren Länge, in einem gewissen Maßstabe, dem Betrage des Vektors gleich ist, und deren Richtung die Richtung (und den Richtungs**sinn** eventuell durch einen Pfeil) des Vektors angibt. Einen Vektor, dessen Betrag gleich der gewählten Einheit ist, heißt **Einheitsvektor**.

Einen Vektor bezeichnet man gewöhnlich durch deutsche Buchstaben z. B. $\mathfrak{A}$ und den entsprechenden Einheitsvektor durch Anhängen des Index o, z. B. $\mathfrak{A}_0$. Den Betrag des Vektors bezeichnet man mit dem entsprechenden lateinischen Buchstaben z. B. A, oder auch durch $|\mathfrak{A}|$.

Es sei nun AB (Fig. 1) ein Vektor $\mathfrak{A}$,

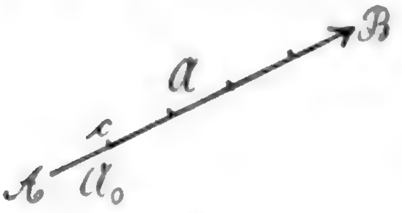


Fig. 1.

dessen Betrag durch die Länge der Strecke AB und dessen Richtung und Richtungssinn durch die Lage der Strecke AB und durch den Pfeil gegeben sind. Ac sei der entsprechende Einheitsvektor $\mathfrak{A}_0$. Es ist nun klar, daß $\mathfrak{A} = A\mathfrak{A}_0$ sein wird, falls A den Betrag des Vektors bedeutet. In der Figur 1 ist A = 5. Hierbei bedeutet A nicht nur das Verhältnis von AB zu Ac, sondern es ist auch in A zugleich die Dimension des Vektors enthalten, während der Einheitsvektor $\mathfrak{A}_0$ dimensionslos angenommen wird.

Haben wir eine Gleichung zwischen zwei Vektoren, so wird dieselbe nur dann bestehen können, wenn nicht nur die Beträge gleiche Dimensionen haben, sondern es müssen auch die Einheitsvektoren gleiche Richtungen haben.

4. Addition und Subtraktion von Vektoren. Die Projektion einer Strecke auf eine feste Richtung ändert sich nicht bei einer parallelen Verschiebung der Strecke. Infolgedessen kommt es auf die Lage des Anfangspunktes derjenigen Strecke, welche einen Vektor darstellt, nicht an. Haben wir z. B. zwei Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ (Fig. 2), so können

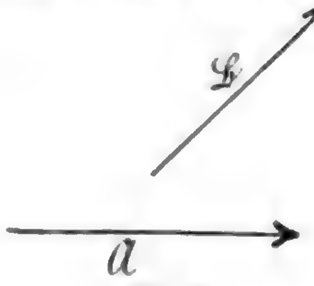


Fig. 2.

wir dieselben durch Parallelverschiebung in die Lage $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ (Fig. 3) bringen, wobei

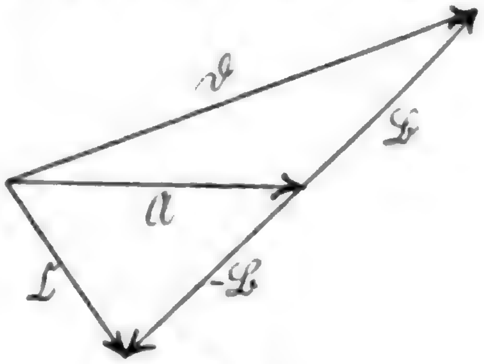


Fig. 3.

der Anfangspunkt von $\mathfrak{B}$ mit dem Endpunkt von $\mathfrak{A}$ zusammenfällt. Man bezeichnet dann als Summe von $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ denjenigen Vektor $\mathfrak{D}$ (Fig. 3), welcher den Anfangspunkt von $\mathfrak{A}$ mit dem Endpunkt von $\mathfrak{B}$ verbindet und nach diesem Endpunkt hingerichtet ist (**Geometrische Addition**). Hierdurch ist Betrag und Richtung der Summe $\mathfrak{D}$ vollständig bestimmt. Man drückt diese Summe durch die Gleichung aus

(1) $$\mathfrak{A} + \mathfrak{B} = \mathfrak{D}$$

Sind $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ gleichgerichtet, so wird auch $\mathfrak{D}$ mit dieser gemeinsamen Richtung zusammenfallen und (1) geht in eine einfache Addition der Beträge über d. h. in eine gewöhnliche Addition skalarer Größen.

Nehmen wir statt $\mathfrak{B}$ den negativen Vektor $-\mathfrak{B}$, so folgt durch analoge Betrachtung nach Fig. 3

(2) $$\mathfrak{A} + (-\mathfrak{B}) = \mathfrak{A} - \mathfrak{B} = \mathfrak{C}$$

Die Gleichungen (1) und (2) bilden die Regeln für die Addition und Subtraktion von Vektoren. Es sind hierbei $\mathfrak{D}$ und $\mathfrak{C}$ nichts anderes, als die Diagonalen der Parallelogramme, gebildet aus $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$, resp. aus $\mathfrak{A}$ und $-\mathfrak{B}$.

Haben wir eine beliebige Anzahl von Vektoren $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$ (Fig. 4), so ergibt sich leicht aus dem eben Gesagten, wie wir deren Summe zu erhalten haben. Zu dem Zweck

Digitized by Google

bilden wir durch Parallelverschiebung der gegebenen Vektoren einen zusammenhängenden Linienzug, so daß der Anfang des einen

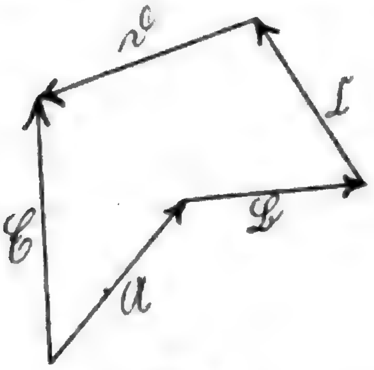


Fig. 4.

Vektors mit dem Endpunkt des vorhergehenden zusammenfällt und verbinden den Anfangspunkt des ersten Vektors ($\mathfrak{A}$) mit dem Endpunkt des letzten Vektors ($\mathfrak{D}$). Der Vektor $\mathfrak{E}$ stellt dann nach Richtung und Größe die gesuchte Summe dar. Daraus folgt sofort, daß wenn der Linienzug ein geschlossener, d. h. der Endpunkt des letzten Vektors mit dem Anfangspunkte des ersten zusammenfällt, die Summe der gegebenen Vektoren gleich Null ist.

5. Rechtwinkliges Koordinatensystem. Komponenten. Grundvektoren. Rechtssystem. Linkssystem. In Fig. 4 ist $\mathfrak{E}$ die Summe von $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ und $\mathfrak{D}$. Umgekehrt können wir bei gegebenem $\mathfrak{E}$ diese vier Vektoren $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ und $\mathfrak{D}$ als diejenigen betrachten, in welche man sich $\mathfrak{E}$ zerlegt denken kann. Nun können wir aber auch $\mathfrak{E}$ durch einen anderen beliebigen Linienzug erhalten. D. h. mit anderen Worten: während die Summation einer Anzahl gegebener Vektoren vollkommen eindeutig ist, ist die Zerlegung eines gegebenen Vektors in Summanden ein unbestimmter Prozeß und kann auf mannigfaltige Arten geschehen. Im besonderen können wir einen Vektor $\mathfrak{A}$ durch drei nicht komplanare Vektoren darstellen, d. h. durch Vektoren, die nicht in einer Ebene liegen. Dieser Fall ist deshalb wichtig, weil die Kenntnis dreier solcher Vektoren vollständig genügt um einen Vektor $\mathfrak{A}$ im Raume zu bestimmen. Die Beträge dieser drei Vektoren nennt man die Komponenten des Vektors $\mathfrak{A}$ längs der drei nicht komplanaren Richtungen.

Wir nehmen nun diese drei Richtungen senkrecht zueinander an, d. h. führen ein rechtwinkliges Koordinatensystem X, Y, Z ein (Fig. 5). Bezeichnen wir die Komponenten von $\mathfrak{A}$ längs den Achsen X, Y, Z durch A_1, A_2, A_3 (die also Skalare sein werden) und die Einheitsvektoren längs dieser Achsen durch $\mathfrak{i}$, $\mathfrak{j}$, $\mathfrak{k}$, so erhalten wir nach der Regel der Addition von Vektoren und aus dem Begriff des Einheitsvektors

(3) $$\mathfrak{A} = A_1\mathfrak{i} + A_2\mathfrak{j} + A_3\mathfrak{k}$$

wobei die Komponenten sich bestimmen aus

(4) $$A_1 = |\mathfrak{A}| \cos(\mathfrak{A}X);\ A_2 = |\mathfrak{A}| \cos(\mathfrak{A}Y);\ A_3 = [\mathfrak{A}] \cos(\mathfrak{A}Z)$$

Die Einheitsvektoren $\mathfrak{i}$, $\mathfrak{j}$, $\mathfrak{k}$ werden als Grundvektoren bezeichnet.

Das in Figur 5 dargestellte Koordinatensystem ist das am meisten gebräuchliche. Bei demselben ist die Drehung, welche man der X-Achse um die Z-Achse herum erteilen muß, um sie zum Zusammenfallen mit der Y-Achse zu bringen eine rechtsläufige, falls man längs der positiven Richtung der Z-Achsen blickt, also in Drehsinn des Vektorzeigers. Ein solches Koordinatensystem nennt man ein Rechtssystem. Das seltener gebrauchte Linkssystem unterscheidet sich von dem Rechtssystem dadurch, daß bei ihm die X- und Y-Achse untereinander vertauscht sind.

Als Beispiel zur Addition von Vektoren sei unter anderem hingewiesen auf das Parallelogramm der Kräfte und der Geschwindigkeiten. Stellt z. B. $\mathfrak{A}$ (Fig. 3) nach Richtung und Größe die Geschwindigkeit eines Schiffes in bezug auf die Erde dar und $\mathfrak{B}$ die Geschwindigkeit eines Passagiers in bezug auf das Schiff, so ist die Summe $\mathfrak{D}$ die Geschwindigkeit des Passagiers in bezug auf die Erde.

6. Polare und axiale Vektoren. Wir betrachten nun einen sogenannten Radius-

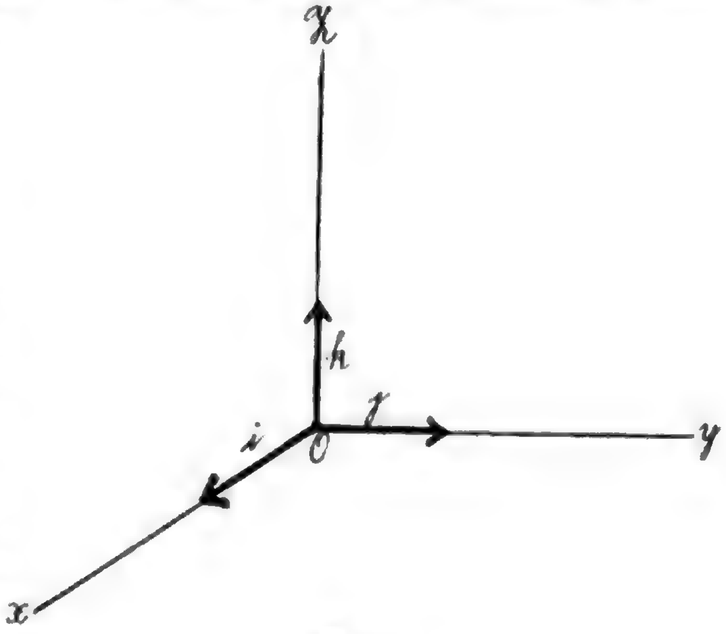


Fig. 5.

Digitized by Google

vektor $\mathfrak{r}$ (Fig. 6). Dies ist ein Vektor, der uns die Entfernung von einem festen Aufpunkt A bis zu einem beliebigen Punkt B im Raume angibt und zwar nach Größe und Richtung, wobei letztere positiv von A aus gerechnet wird. Dieser Vektor ist als typischer Repräsentant solcher Vektoren zu betrachten, die nur eine bestimmte Richtung (mit dem entsprechenden Betrag) charakterisieren. Solche Vektoren nennt man polare. Es gibt aber auch Vektoren, die nicht nur eine Richtung sondern auch einen Drehungssinn, oder eine Umlaufsrichtung um den Vektor als Achse angeben. Solche Vektoren bezeichnet man als axiale. Der

Fig. 6.

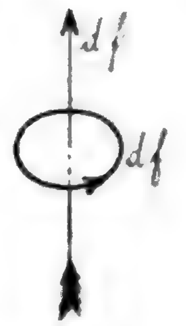


Fig. 7.

Unterschied der polaren und axialen Vektoren ergibt sich aus ihrem Verhalten in bezug auf die sogenannte Inversion. Unter Inversion verstehen wir die Vertauschung der Richtungen plus und minus bei allen drei Achsen, d. h. eine Spiegelung um den Koordinatenanfang. Führen wir eine Inversion bei einem Rechtssystem aus und drehen das neue Koordinatensystem um den Anfangspunkt, bis die neue Z-Achse mit der früheren zusammenfällt, so sehen wir, daß wir durch die Inversion von einem Rechtssystem zu einem Linkssystem übergegangen sind.

Bezeichnen wir die entsprechenden Größen nach der Inversion durch Striche, so sind die neuen Grundvektoren $\mathfrak{i}'$, $\mathfrak{j}'$ und $\mathfrak{k}'$ gegeben durch

(5) $$\mathfrak{i}' = -\mathfrak{i};\ \mathfrak{j}' = -\mathfrak{j};\ \mathfrak{k}' = -\mathfrak{k}$$

Ist $\mathfrak{A}$ ein polarer Vektor, so werden seine Komponenten A_1, A_2, A_3 bei der Inversion einfach ihr Zeichen wechseln. D. h. es wird sein

(6) $$A'_1 = -A_1;\ A_2' = -A_2;\ A_3' = -A_3.$$

Hieraus folgt wegen (3)

(7) $$\mathfrak{A} = A_1\mathfrak{i} + A_2\mathfrak{j} + A_3\mathfrak{k} = A_1'\mathfrak{i}' + A_2'\mathfrak{j}' + A_3'\mathfrak{k}'$$

Es wird also nach der Inversion ein polarer Vektor durch seine neuen Komponenten auch richtig dargestellt, oder mit anderen Worten der Ausdruck rechts in (7) bleibt bei der Inversion invariant.

Anders ist es beim axialen Vektor. Bei demselben erhalten wir nach der Inversion

(8) $$A_1' = A_1;\ A_2' = A_2;\ A_3' = A_3$$

und demnach statt (7)

(9) $$A_1\mathfrak{i} + A_2\mathfrak{j} + A_3\mathfrak{k} = -A_1'\mathfrak{i}' - A_2'\mathfrak{j}' - A_3'\mathfrak{k}'$$

Um also hierbei den richtigen Wert des Vektors aus seinen neuen Komponenten nach der Inversion zu erhalten; müssen wir bei den neuen Komponenten das Zeichen wechseln. Wir werden weiter unten die Beziehung (8) noch genauer begründen.

7. Vektorielles und skalares Produkt. Wir betrachten ein Flächenelement df und nehmen eine Seite desselben als positiv an. Auf dieser Seite errichten wir als Normale den Einheitsvektor $\mathfrak{n}$, dessen positive Richtung vom Flächenelement nach außen angenommen wird. Das Flächenelement wird von einer Kurve begrenzt, deren positive Umlaufsrichtung einer rechtsläufigen Drehung (im Sinne des Uhrzeigers) entspricht, falls wir längs $\mathfrak{n}$ blicken. Wir bezeichnen das Flächenelement durch den Vektor $d\mathfrak{f}$, dessen Betrag df gleich dem Flächeninhalt des Elementes ist und dessen Richtung mit $\mathfrak{n}$ zusammenfällt (Fig. 7). Ein solcher Vektor wird nach dem Vorhergehenden ein axialer sein, wie wir dies sofort sehen werden. Wir betrachten nun ein Parallelogramm, gebildet aus den Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ (Fig. 8). Die Fläche dieses Parallelogramms zerteilen wir in kleine Flächenelemente und bilden aus denselben die eben erwähnten Vektoren $d\mathfrak{f}$. Haben alle $d\mathfrak{f}$ denselben Umlaufssinn, so ergibt die Summe aller Vektoren $d\mathfrak{f}$ einen axialen Vektor, dessen Betrag gleich dem Flächeninhalt $AB\sin(\mathfrak{A}\mathfrak{B})$ des Parallelogramms ist, und dessen Richtung normal zu der Ebene der Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ ist und infolge des angenommenen Umlaufssinnes (der Pfeil in Fig. 8) zum Beschauer hinweist.

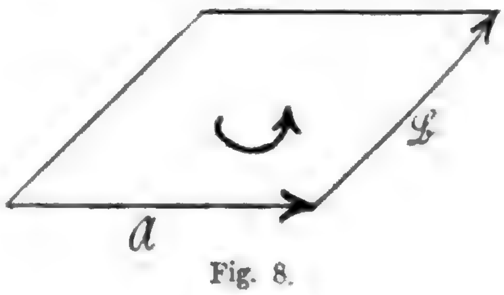


Fig. 8.

Diesen neuen Vektor $\mathfrak{C}$ bezeichnet man mit

(10) $$\mathfrak{C} = [\mathfrak{A}\mathfrak{B}]$$

und versteht unter diesem Ausdruck das vektorielle Produkt oder Vektorprodukt der beiden Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$. Hieraus und aus der Kenntnis des Betrages und der Richtung von $\mathfrak{C}$ erhalten wir, falls $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ zwei von den Grundvektoren sind,

Digitized by Google

(11) $[\mathfrak{i}\mathfrak{i}] = o; [\mathfrak{j}\mathfrak{j}] = o; [\mathfrak{k}\mathfrak{k}] = o; [\mathfrak{i}\mathfrak{j}] = \mathfrak{k};$
$[\mathfrak{j}\mathfrak{k}] = \mathfrak{i}; [\mathfrak{k}\mathfrak{i}] = \mathfrak{j}$

Es seien nun $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ in (10) zwei Vektoren, die durch (3) gegeben sind. Führen wir diese in (10) ein und multiplizieren sie vektoriell unter Berücksichtigung von (11), so erhalten wir

(12) $\mathfrak{C} = C_1\mathfrak{i} + C_2\mathfrak{j} + C_3\mathfrak{k}$

wobei

(13) $C_1 = A_2B_3 - B_2A_3; C_2 = A_3B_1 - B_3A_1;$
$C_3 = A_1B_2 - B_1A_2$

sind. Führen wir nun eine Inversion aus, dann wird, falls $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ polare Vektoren sind, sein $A_2' = -A_2$, $B_3' = -B_3$ usw. D. h. $C_1' = C_1; C_2' = C_2; C_3' = C_3$. Ein Vergleich mit (8) ergibt, daß $\mathfrak{C}$ tatsächlich ein axialer Vektor ist.

Wir denken uns einen Körper um einen festen Punkt M (Fig. 9) durch eine Kraft $\mathfrak{K}$,

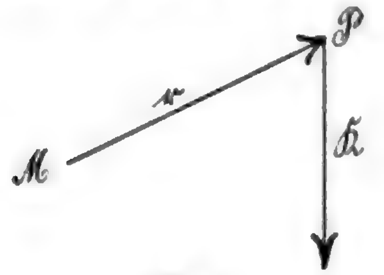


Fig. 9.

welche an einem Punkt P des Körpers angreift, gedreht. Bezeichnet $\mathfrak{r}$ die Entfernung von M bis P, M als Aufpunkt aufgefaßt, so ergibt das Produkt $\mathfrak{C} = [\mathfrak{r}\mathfrak{K}]$ das Moment der Kraft $\mathfrak{K}$ in bezug auf den Punkt M und ist ein Vektor, dessen Achse mit der Momentenachse zusammenfällt. Hat die Kraft $\mathfrak{K}$ das entgegengesetzte Vorzeichen, so wechselt das Moment sein Vorzeichen und ebenfalls das Produkt $\mathfrak{C}$, was dadurch ausgedrückt wird, daß man schreibt $[\mathfrak{K}\mathfrak{r}]$. Es ist deshalb allgemein

(14) $[\mathfrak{A}\mathfrak{B}] = -[\mathfrak{B}\mathfrak{A}]$

Außer einem vektoriellen Produkt gibt es noch ein sogenanntes s k a l a r e s Produkt zweier Vektoren $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$. Dieses Produkt ist, wie seine Benennung schon zeigt, ein Skalar und wird durch $\mathfrak{A}\mathfrak{B}$ bezeichnet. Der Wert desselben ist gleich dem Produkt der Beträge der gegebenen Vektoren, multipliziert mit dem Kosinus des eingeschlossenen Winkels. D. h.

(15) $\mathfrak{A}\mathfrak{B} = AB \cos (\mathfrak{A}\mathfrak{B})$

Sind demnach $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ senkrecht zueinander, so ist deren skalares Produkt gleich Null, während das vektorielle Produkt dann verschwindet, wenn $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ gleiche Richtung haben, wie wir dies in (11) gesehen haben. Bezeichnet z. B. dA die Arbeit einer Kraft $\mathfrak{K}$ längs des Wegelementes $d\mathfrak{l}$, so ist also $dA = \mathfrak{K}d\mathfrak{l}$.

8. Beispiel. Wir wollen jetzt an einem Beispiel, nämlich der Berechnung des Schwerpunktes eines starren Körpers, das Vorhergehende erläutern.

Bedeutet g die Erdbeschleunigung, so ist die Größe der Schwerkraft, die auf das Massenteilchen m wirkt, gleich mg. Die Kraft $\mathfrak{k}$ selbst ist gegeben durch $\mathfrak{k} = mg\mathfrak{c}_0$, falls $\mathfrak{c}_0$ den Einheitsvektor in der Richtung der Schwerkraft bedeutet. Die Gesamtkraft $\mathfrak{K}$, die auf den Körper wirkt, ist demnach gleich

(16) $\mathfrak{K} = \Sigma\mathfrak{k} = \Sigma mg\mathfrak{c}_0$

wo das Summenzeichen Σ eine Summation über alle Teilchen des Körpers bedeutet. Da g und $\mathfrak{c}_0$ konstant für den ganzen Körper sind, so können wir statt (16) auch schreiben

(17) $\mathfrak{K} = g\mathfrak{c}_0\Sigma m = g\mathfrak{c}_0 M$

wo M die Gesamtmasse des Körpers bedeutet. Nun denken wir uns den Körper am Schwerpunkt aufgehängt. Er muß sich dann im Gleichgewicht befinden, d. h. aber: die Summe der Momente aller Kräfte $\mathfrak{k}$, den Schwerpunkt als Momentenpunkt aufgefaßt, muß gleich Null sein. Bezeichnet demnach $\mathfrak{r}$ den Radiusvektor vom Schwerpunkt als Aufpunkt, bis zu einem Teilchen, so muß demnach sein

(18) $\Sigma[\mathfrak{r}\mathfrak{k}] = \Sigma[\mathfrak{r}mg\mathfrak{c}_0] = 0$

Da aber g und $\mathfrak{c}_0$ konstant sind, so folgt aus (18)

(19) $g[\mathfrak{c}_0\Sigma m\mathfrak{r}] = 0$

Nun können wir den Körper beliebig um den Schwerpunkt drehen. Immer muß er sich im Gleichgewicht befinden. Nun sind die $\mathfrak{r}$ fest mit dem Körper verbunden, woraus folgt, daß $\mathfrak{c}_0$ eine b e l i e b i g e Lage zu den $\mathfrak{r}$ annehmen kann. Da aber hierbei (19) immer erfüllt sein muß, so schließen wir aus (19), daß dies nur dann möglich ist, wenn

(20) $\Sigma m\mathfrak{r} = 0$

ist. Durch (20) ist die Lage des Schwerpunktes gegeben. Denn bezeichnen wir durch 0 (Fig. 10) den Schwerpunkt und durch A einen

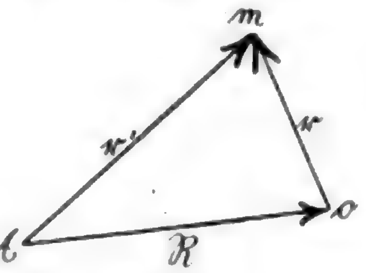


Fig. 10.

beliebigen festen Punkt im Raume, so folgt aus der Figur für ein Teilchen m

(21) $\mathfrak{r}' = \mathfrak{R} + \mathfrak{r}$

Der Radiusvektor $\mathfrak{R}$ bestimmt den Schwer-

Digitized by Google

punkt und die $\mathfrak{r}'$ die Lagen der einzelnen Teilchen. Aus (21) ergibt sich $\mathfrak{r} = \mathfrak{r}' - \mathfrak{R}$. Setzen wir diesen Wert für $\mathfrak{r}$ in (20) ein, so erhalten wir

$$(22) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}' = \mathfrak{R}\Sigma m = \mathfrak{R}M$$

In der Tat ist hierdurch $\mathfrak{R}$ bestimmt, denn M und die $\mathfrak{r}'$ sind uns bekannt.

Bezeichnen wir durch x den Abstand eines Teilchens von einer Ebene E, die durch den Schwerpunkt geht, so ist bekanntlich $\Sigma mx = 0$, wobei x positiv oder negativ sein kann, je nachdem auf welcher Seite von C das entsprechende Teilchen liegt. Dieses läßt sich sofort aus (20) nachweisen. Zu dem Zweck zerlegen wir $\mathfrak{r}$ in zwei Vektoren, $\mathfrak{r}_1$ in der Ebene C und $\mathfrak{r}_2$ senkrecht dazu. Da nun $\mathfrak{r} = \mathfrak{r}_1 + \mathfrak{r}_2$ ist, so folgt aus (20)

$$(23) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}_1 + \Sigma m\mathfrak{r}_2 = 0.$$

Nun liegen die $\mathfrak{r}_1$ in der Ebene C und die $\mathfrak{r}_2$ senkrecht dazu. Demnach stellt das erste Glied in (23) einen Vektor dar, der in der Ebene C liegt und das zweite Glied einen zur Ebene C senkrechten Vektor. Die Summe zweier zueinander senkrechten Vektoren kann aber nur dann verschwinden, wenn jeder einzelne Vektor gleich Null ist. D. h. es ist

$$(24) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}_2 = 0$$

Wodurch der Satz $\Sigma mx = 0$ bewiesen ist. Weiter folgt aus (23)

$$(25) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}_1 = 0$$

Hierbei sind unter m alle Teilchen des Körpers verstanden, während $\mathfrak{r}_1$ in der Ebene C liegt. Stellen wir uns nun eine flächenhafte Massenverteilung vor, so ergibt uns (25) die Möglichkeit den Schwerpunkt einer ebenen Fläche zu finden. Legen wir durch den Schwerpunkt dieses ebenen Flächenstückes in der Ebene desselben eine Linie und bezeichnen durch y den Abstand eines Massenteilchens von dieser Linie, so wird bekanntlich $\Sigma my = 0$ sein. Dies folgt auch sofort aus (25). Denn zerlegen wir $\mathfrak{r}_1$ in zwei zueinander senkrechte Vektoren, $\mathfrak{r}_1'$, der in die obige Linie fällt, und $\mathfrak{r}_1''$ senkrecht dazu, so folgt aus (25), da $\mathfrak{r}_1 = \mathfrak{r}_1' + \mathfrak{r}_1''$ ist

$$(26) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}_1' + \Sigma m\mathfrak{r}_1'' = 0$$

hieraus ergibt sich, analog wie früher,

$$(27) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}_1'' = 0$$

was dem zu beweisenden Satze $\Sigma my = 0$ entspricht, und

$$(28) \qquad \Sigma m\mathfrak{r}_1' = 0$$

wodurch der Schwerpunkt einer Linie bestimmt wird.

9. Tensoren. Wir wollen noch eine Klasse von Vektoren untersuchen, die ebenfalls sehr häufig in der Physik vorkommen und dort eine sehr wichtige Rolle spielen. Es sind dies die sogenannten Tensoren.

Um die Eigenschaften der Tensoren zu veranschaulichen, denken wir uns einen Radiusvektor $\mathfrak{r}_0$ von der Länge Eins von einem festen Aufpunkt gezogen. Wir bilden aus $\mathfrak{r}_0$ und einem beliebigen Vektor $\mathfrak{A}$ das Vektorprodukt $\mathfrak{B} = [\mathfrak{A}\mathfrak{r}_0]$. Aendern wir nun die Richtung von $\mathfrak{r}_0$, so ändert sich hierbei die Richtung und der Betrag von $\mathfrak{B}$. Wir können deshalb sagen $\mathfrak{B}$ ist eine Funktion von $\mathfrak{r}_0$. Es wird aus diesem Beispiel verständlich sein, wenn wir ganz allgemein von einem Vektor $\mathfrak{A}$, als einer Funktion von $\mathfrak{r}_0$ sprechen und demnach schreiben

$$(29) \qquad \mathfrak{A} = f(\mathfrak{r}_0)$$

Wie wir aus dem angeführten Beispiel schon gesehen haben, braucht die Richtung von $\mathfrak{r}_0$ nicht mit der Richtung von $\mathfrak{A}$ zusammen zufallen. Denken wir uns nun um den Aufpunkt als Mittelpunkt eine Kugelfläche mit dem Radius Eins beschrieben, so wird sich der Endpunkt von $\mathfrak{r}_0$, bei willkürlicher Aenderung der Richtung von $\mathfrak{r}_0$, auf dieser Kugelfläche bewegen. Währenddessen bewegt sich der Endpunkt von $\mathfrak{A}$, welchen Vektor wir auch von demselben Aufpunkt aus aufgetragen denken, längs einer Fläche, deren Form von der Beziehung zwischen $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{r}_0$ abhängen wird.

Es sei A (Fig. 11) der Aufpunkt und $\mathfrak{r}_0$

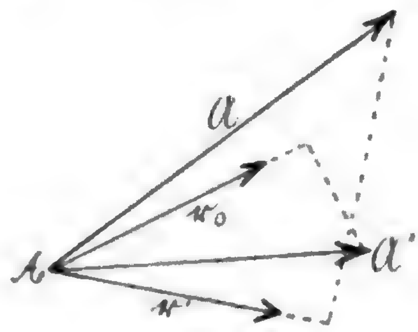


Fig. 11.

und $\mathfrak{r}_0'$ zwei verschiedene und zwar beliebige Lagen von $\mathfrak{r}_0$ und $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{A}'$ die entsprechenden Lagen von $\mathfrak{A}$. Wir bilden nun die skalaren Produkte $\mathfrak{A}'\mathfrak{r}_0$ und $\mathfrak{A}\mathfrak{r}_0'$ und nehmen an, daß die Beziehung (29) zwischen $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{r}_0$ von solcher Beschaffenheit ist, daß die Gleichung

$$(30) \qquad \mathfrak{A}\mathfrak{r}_0' = \mathfrak{A}'\mathfrak{r}_0$$

immer erfüllt sein wird. Ist nun (30) stets erfüllt, so beschreibt der Endpunkt von $\mathfrak{A}$, wie man dies nachweisen kann, ein Ellipsoid. Einen solchen Vektor, der den Bedingungen (29) und (30) genügt, nennt man einen Tensor. Hierbei darf man aber unter einem Tensor nicht etwa einen Wert von $\mathfrak{A}$ bei einer bestimmten Richtung von $\mathfrak{r}_0$ verstehen, sondern die Gesamtheit der Werte von $\mathfrak{A}$ bei allen möglichen Richtungen von $\mathfrak{r}_0$, d. h. die Funktion (29), oder gewissermaßen die Kugel und das Ellipsoid zusammen.

Digitized by Google

Ist $\mathfrak{r}_0' = -\mathfrak{r}_0$, so folgt aus (30) $(\mathfrak{A} + \mathfrak{A}')\,\mathfrak{r}_0 = 0$ und da $\mathfrak{r}_0$ beliebig ist $\mathfrak{A} = -\mathfrak{A}'$ (Fig. 12). D. h. wechselt $\mathfrak{r}_0$ seine Richtung in die entgegengesetzte, so tut dies auch $\mathfrak{A}$. Es ergibt sich hieraus, daß für einen beliebigen Wert von $\mathfrak{A}$ ein entgegengesetzter existieren wird (dies folgt auch aus den Eigenschaften eines Ellipsoids). Es hat also ein Tensor einen doppelseitigen Richtungssinn. Die drei zueinander senkrechten Hauptachsen des Ellipsoids haben die Eigenschaft, daß falls $\mathfrak{r}_0$ mit einer derselben zusammenfällt, dasselbe auch für $\mathfrak{A}$ gilt. Für alle anderen Richtungen von $\mathfrak{r}_0$ fallen $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{r}_0$ nicht zusammen. Aus allem Gesagten ersehen wir, daß ein Tensor ein höheres Gebilde ist, als ein gewöhnlicher Vektor.

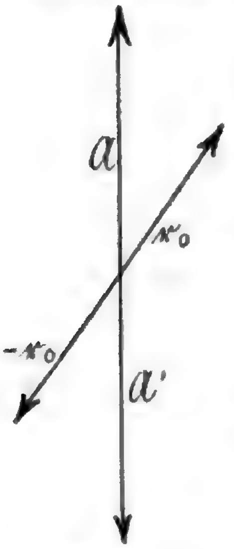


Fig. 12.

Als ein typisches Beispiel eines Tensors betrachten wir die Spannung innerhalb eines elastischen Körpers. Zu dem Zweck denken wir uns durch den betreffenden elastischen Körper, welcher äußeren Kräften unterworfen ist, eine Fläche gelegt, von welcher wir ein Flächenelement $d\mathfrak{f}$ betrachten wollen. Dasselbe besitzt laut dem Früheren eine positive Normale $\mathfrak{n}$. Ist $\mathfrak{P}$ die Spannung, so wollen wir unter dem Produkt $\mathfrak{P}d\mathfrak{f}$ diejenige Kraft verstehen, mit welcher der auf der positiven Seite von $d\mathfrak{f}$ gelegene Teil des Körpers auf $d\mathfrak{f}$ drückt. Aus dieser Definition von $\mathfrak{P}$ folgt, daß falls $\mathfrak{P}\mathfrak{n}$ negativ ist, wir einen Druck haben werden und im entgegengesetzten Fall einen Zug. Nun läßt sich nachweisen, daß $\mathfrak{P}$ ein Tensor ist, wobei $\mathfrak{n}$ die Stelle von $\mathfrak{r}_0$ in (29) vertritt. Daraus folgt sofort das bekannte Resultat, daß die Spannung $\mathfrak{P}$ im allgemeinen nicht mit der Normale $\mathfrak{n}$ gleichgerichtet sein wird (denn wir haben bekanntlich Zug- und Schubspannungen), sondern nur für drei senkrechte zueinander Richtungen von $\mathfrak{n}$ (dort verschwinden also die Schubspannungen). Aus dem doppelten Richtungssinn des Tensors $\mathfrak{P}$ folgt endlich sofort, daß der Druck von der positiven Seite des Flächenelementes gleich und entgegengesetzt gerichtet ist dem Druck von der negativen Seite (Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, Reaktionsprinzip). Als ein weiteres Beispiel für einen Tensor sei auf das sogenannte Trägheitsellipsoid hingewiesen.

10. Vektorfelder. Vektorlinien. Skalare Felder. Niveauflächen. Lamellare Felder. Solenoidale Felder. Es kommt sehr häufig vor, daß Vektoren beliebig im Raume verteilt sind. Verfolgen wir z. B. die Bewegung einer Flüssigkeit, so werden wir in jedem Punkt des mit Flüssigkeit erfüllten Raumes eine bestimmte Geschwindigkeit der Flüssigkeit beobachten, d. h. einen Vektor, der diese Geschwindigkeit darstellt, vorfinden.

Wir nennen einen solchen Raum, innerhalb welchen ein Vektor verteilt ist, ein Vektorfeld. Die Vektorfelder spielen eine wichtige Rolle in der Physik, so z. B. in der Elektrizitätslehre, wo die elektrische resp. magnetische Kraft stetig im Raume verteilt sind.

Gegeben sei ein Vektorfeld. Wir denken uns in ihm eine Kurve gezogen, von solcher Eigenschaft, daß ihre Tangente in jedem Punkt mit der Richtung des Vektors in dem betreffenden Punkt zusammenfällt. Man nennt eine solche Kurve eine Vektorlinie. Auf die Hydrodynamik angewendet wird eine Vektorlinie der Geschwindigkeit nichts anderes sein als die betreffende Strömungslinie, längs welcher sich das Flüssigkeitsteilchen bewegt.

Durch einen beliebigen Punkt des gegebenen Vektorfeldes läßt sich eine solche Vektorlinie ziehen. Es ist klar, daß sich zwei Vektorlinien nicht schneiden können. Denn dies würde bedeuten, daß in dem Schnittpunkt der entsprechende Vektor nicht eindeutig bezüglich seiner Richtung ist, was unmöglich ist, solange wir unter einem Vektor eine physikalische Größe verstehen. Das Beispiel aus der Hydrodynamik legt dies uns klar zutage, wenn wir bedenken, daß sich die Strömungslinien augenscheinlich nicht schneiden können.

Genau wie ein Vektor kann auch ein Skalar im Raum verteilt sein, z. B. die Temperatur, Dichte usw. Einen solchen Raum bezeichnet man als ein skalares Feld. In diesem Feld greifen wir einen Punkt heraus, dem ein gewisser Wert des Skalars entspricht, und suchen im gegebenen Feld alle diejenigen Punkte auf, die demselben Wert des Skalars entsprechen und legen durch die so gefundenen Punkte eine Fläche. Eine solche Fläche nennt man eine Niveaufläche (z. B. eine Niveaufläche der Temperatur). Auf einer Niveaufläche hat demnach der Skalar einen konstanten Wert. Auch hier ist es augenscheinlich, daß sich zwei Niveauflächen nicht schneiden können; denn das widerspräche der Eindeutigkeit, die wir bei einem physikalischen Feld stets annehmen müssen.

Wir wollen jetzt voraussetzen, daß es in einem gegebenen Vektorfeld möglich ist Flächen zu legen, die überall zu den Vektorlinien senkrecht stehen. Diese Flächen teilen das Feld in Lamellen und ein solches Feld wird daher ein lamellares genannt.

Denken wir uns ferner in einem Vektorfeld eine Röhre von sehr kleinem Quer-

Digitized by Google

schnitt gezeichnet, deren Mantelfläche aus Vektorlinien gebildet ist (Fig. 13). Die positive Richtung der Vektorlinien ist durch Pfeile angegeben. Die Röhre ist durch die sehr kleinen Flächen f_1 und f_2 begrenzt, deren positive Normalen ebenfalls mit den Pfeilen zusammenfallen sollen. Es ist augenscheinlich, daß das skalare Produkt zwischen dem Vektor $\mathfrak{A}$, der das Feld bildet, und einem Flächenelement der Mantelfläche gleich Null ist. Für die Endflächen erhalten wir für die entsprechenden Produkte die Werte $\mathfrak{A}_1 n_1 f_1$ und $\mathfrak{A}_2 n_2 f_2$. Dieses Produkt bezeichnet man als die Stärke der Röhre. In der Hydrodynamik würde die Stärke der Röhre, falls $\mathfrak{A}$ die Geschwindigkeit der Flüssigkeit multipliziert mit der Dichte bedeutet, nichts anderes sein, als die Menge der Flüssigkeit, welche durch den entsprechenden Querschnitt in der Zeiteinheit fließt. Ist die Stärke der Röhre konstant, also $\mathfrak{A}_1 n_1 f_1 = \mathfrak{A}_2 n_2 f_2$, so heißt ein solches Feld ein solenoidales, denn man kann dasselbe in Solenoide (Röhren, σωλήν = Röhre) von konstanter Stärke zerteilen.

Fig. 13.

Alle diese Begriffe sind äußerst wichtig bei dem Studium der physikalischen Felder.

11. Zeitliche und räumliche Aenderungen von Vektoren. Aus dem Begriffe eines Vektorfeldes folgt ohne weiteres, daß falls wir von einem Punkt des Vektorfeldes zu einem benachbarten übergehen, der Wert des Vektors $\mathfrak{A}$, der das Feld bildet, sich im allgemeinen nach Größe und Richtung ändern wird. Im Punkte 0 (Fig. 14) habe der Vektor den Wert $\mathfrak{A}$ und in einem benachbarten Punkt 0' den Wert $\mathfrak{A}'$. Tragen wir von 0 aus noch einmal den Vektor $\mathfrak{A}'$ ab, so ist $d\mathfrak{A}$ die Aenderung von $\mathfrak{A}$, denn es ist $\mathfrak{A}' = \mathfrak{A} + d\mathfrak{A}$.

Ein Vektor, als physikalische Größe, wird im allgemeinen auch von der Zeit abhängen können. Wir wollen deshalb den obigen Uebergang von 0 zu 0' bei konstanter Zeit vollführt denken. Dann gibt uns $d\mathfrak{A}$ diejenige Aenderung des Vektors $\mathfrak{A}$ an, welche von seiner räumlichen Verteilung abhängt. Da die Strecke 00' eine beliebige Richtung im Raume haben kann, so ist es selbstverständlich, daß $d\mathfrak{A}$ nicht nur von der Größe, sondern auch von der Richtung der Strecke abhängen wird.

Beobachten wir andererseits die Aenderung des Vektors $\mathfrak{A}$ in Abhängigkeit von der Zeit in einem Punkt 0 des Raumes, so ergibt uns $d\mathfrak{A}$ die Aenderung des Vektors $\mathfrak{A}$ während der sehr kleinen Zeit dt.

Nehmen wir nun an die Beträge von $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{A}'$ seien gleich, d. h. es hat sich nur die Richtung von $\mathfrak{A}$ geändert. Dann wird in Fig. 14 der Winkel zwischen $\mathfrak{A}$ und $d\mathfrak{A}$ gleich dem Winkel zwischen $\mathfrak{A}'$ und $d\mathfrak{A}$ sein. Ist nun $d\mathfrak{A}$ sehr klein, so können wir annehmen, daß $d\mathfrak{A}$ senkrecht zu $\mathfrak{A}$ ist, d. h. es wird das skalare Produkt $\mathfrak{A} d\mathfrak{A}$ gleich Null sein.

Es sei A der Aufpunkt und $\mathfrak{r}$ der Radiusvektor (Fig. 15). Letzterer bestimmt die Lage eines Punktes M. Dieser Punkt bewege sich nun irgend wie im Raume z. B. längs der Kurve BC. Dann wird sich $\mathfrak{r}$ in bezug auf Größe und Richtung ändern. Im Moment t sei der Punkt in M und nach Verlauf des Zeitelementes dt im Punkte M'. Hierbei ist $\mathfrak{r}$ in $\mathfrak{r}'$ übergegangen und es ist $\mathfrak{r}' = \mathfrak{r} + d\mathfrak{r}$, oder $d\mathfrak{r} = \mathfrak{r}' - \mathfrak{r}$. Wir zerteilen die Kurve BC in kleine Linienelemente, die wir durch $d\mathfrak{l}$ bezeichnen und als Vektoren auffassen, deren Richtung mit denjenigen der Bewegung des Punktes zusammenfällt. Ist jetzt $\mathfrak{t}_0$ der Einheitsvektor längs der Tangente zur Bahn, so ist klar daß $d\mathfrak{l} = dl\,\mathfrak{t}_0$ ist, falls dl den Betrag von $d\mathfrak{l}$ bedeutet.

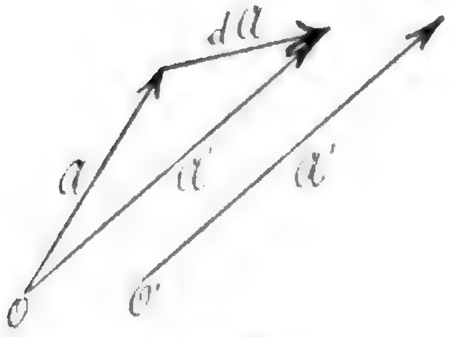


Fig. 14.

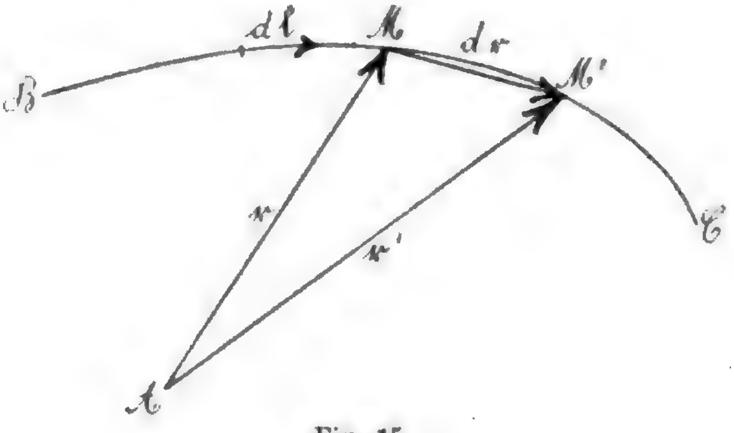


Fig. 15.

Aus der Figur 15 folgt weiter, daß wir $d\mathfrak{r} = d\mathfrak{l} = dl\,\mathfrak{t}_0$ setzen können. Da nun der Bruch $\frac{dl}{dt}$ nichts anderes als den Betrag v der Bahngeschwindigkeit $\mathfrak{v}$ des Punktes darstellt, so folgt hieraus, da $v\mathfrak{t}_0 = \mathfrak{v}$ ist, daß

$$(31) \qquad \frac{d\mathfrak{r}}{dt} = \frac{dl}{dt}\mathfrak{t}_0 = v\mathfrak{t}_0 = \mathfrak{v}.$$

Legen wir nun längst jeder Tangente zur Bahnkurve die entsprechende Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ an, so ersehen wir, da die Tangenten verschiedene Richtungen haben werden und der Punkt sich mit einer beliebigen Geschwindigkeit bewegen kann, daß sich $\mathfrak{v}$ von Stelle zu Stelle nach Größe und Richung ändern wird. Wir können deshalb, analog dem vorhergehendem, die Aenderung $d\mathfrak{v}$ der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ für zwei benachbarte Punkte der Bahnkurve berechnen. Bezeichnen wir die Zeit, die der Punkt benötigt um die Entfernung zwischen diesen Punkten zu durchlaufen durch dt, so wird der Bruch $\frac{d\mathfrak{v}}{dt}$ nichts anderes sein als die Beschleunigung nach Größe und Richtung.

Wir wollen diese Beschleunigung unter der vereinfachten Annahme berechnen, daß sich der Punkt mit konstanter Geschwindigkeit längs eines Kreises mit dem Radius R und dem Mittelpunkt A bewegt. Dann ist der Betrag R von $\mathfrak{r}$ konstant. Wir verfolgen z. B. die Bewegung eines Punktes am Umfange eines mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotierenden Rades. Da v konstant ist, so folgt aus (31) $d\mathfrak{v} = v d\mathfrak{t}_0$ und die Beschleunigung wird sein

$$(32) \qquad \frac{d\mathfrak{v}}{dt} = v\frac{d\mathfrak{t}_0}{dt}.$$

Da $\mathfrak{t}_0$ ein Einheitsvektor ist, so wird $d\mathfrak{t}_0$ senkrecht zu $\mathfrak{t}_0$ sein und augenscheinlich nach A zu hinweisen. Wir bezeichnen den Einheitsvektor längs dieser Richtung durch $\mathfrak{N}_0$ (also entgegengesetzt $\mathfrak{r}$). Ist nun $d\varphi$ der Winkel zwischen zwei benachbarten Lagen $\mathfrak{t}_0$ und $\mathfrak{t}_0'$ (Fig. 16) von $\mathfrak{t}_0$, so folgt aus der

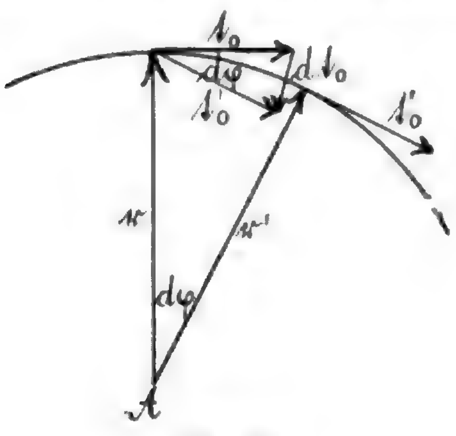


Fig. 16.

Figur, daß der Betrag von $d\mathfrak{t}_0$ gleich $d\varphi$ ist, denn der Betrag von $\mathfrak{t}_0$ ist gleich Eins. Es ist also $d\mathfrak{t}_0 = d\varphi\mathfrak{N}_0$. Nun ist aber die Weglänge, welche der Punkt längs dem Umfange des Kreises in der Zeit dt beschreibt, gleich vdt. Demnach ist $\frac{vdt}{R}$ der Winkel zwischen den entsprechenden benachbarten Radiusvektoren $\mathfrak{r}$ und $\mathfrak{r}'$. Dieser Winkel ist aber gleich dem obigen $d\varphi$, denn $\mathfrak{t}_0$ bewegt sich zusammen mit dem Punkt und ist ständig senkrecht zu $\mathfrak{r}$. Daher ist $\frac{vdt}{R} = d\varphi$ und $d\mathfrak{t}_0 = d\varphi\mathfrak{N}_0 = \frac{vdt}{R}\mathfrak{N}_0$. Dies in (32) eingesetzt, ergibt für die gesamte Beschleunigung den Wert

$$(33) \qquad \frac{d\mathfrak{v}}{dt} = \frac{v^2}{R}\mathfrak{N}_0$$

ein wohlbekannter Ausdruck für die sogenannte Zentripetalbeschleunigung.

Mit diesen Beispielen wollen wir uns begnügen und weisen noch zum Schluß darauf hin, daß die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Aenderung der Vektoren das wichtigste Anwendungsgebiet der Vektorenrechnung oder Vektoranalysis bildet und eine große Vereinfachung und Anschaulichkeit bei der Untersuchung von physikalischen Problemen mit sich bringt.

Literatur. **A. Winkelmann,** *Handbuch der Physik. Bd. I. Leipzig 1908.* — **P. Duhem,** *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Leipzig 1908.* — **E. Mach,** *Erkenntnis und Irrtum. Leipzig 1905.* — **O. Chwolson,** *Lehrbuch der Physik. Bd. I. Braunschweig 1902.* — **Föppl-Abraham,** *Theorie der Elektrizität. Leipzig 1907—1908.* — **A. Föppl,** *Vorlesungen über technische Mechanik. Leipzig 1908—1911.* — **W. v. Ignatowsky,** *Die Vektoranalysis. Leipzig 1909—1910.* — *Siehe auch den Artikel „Maß und Messen".*

W. v. Ignatowsky.

Physikalische Prinzipien

siehe den Artikel „Prinzipien der Physik".

Physikalische Technik.

1. Materialienkunde (Holz, Metalle, Hilfsmaterialien). 2. Löten und Schweißen. 3. Kitte und Klebemittel. 4. Schleifen und Polieren. 5. Galvanisieren und Lackieren. 6. Mechanische und thermische Störungen. 7. Allgemeines.

Die experimentellen Arbeiten des Physikers setzen je nach dem Spezialgebiet mehr oder weniger umfangreiche Kennt-

Digitized by Google

nisse der physikalischen Technik voraus. Diese Kenntnisse sollen einmal die persönliche Ausübung gewisser mechanischer Arbeiten ermöglichen, soweit sie geeignet sind, Untersuchungsarbeiten rasch zu fördern, dann aber auch die Fähigkeit verleihen, sich über die Grenzen des mechanisch Erreichbaren bei der endgültigen Ausgestaltung von Instrumenten und Apparaten klar zu werden. Daß hierzu ein mehr als oberflächliches Eindringen in die praktischen Arbeiten des Feinmechanikers, Tischlers und Glasbläsers nötig ist, beginnen auch unsere Hochschulen anzuerkennen. So bietet die Universität Göttingen ihren Besuchern in der dortigen Fachschule für Feinmechanik die Möglichkeit einer fachgemäßen Einführung in die physikalische Technik und ebenso ist im Physikalischen Institut der Universität Berlin Gelegenheit zur Unterweisung in Werkstattarbeiten geschaffen. Auf die wesentlichen Grundlagen der physikalischen Technik sei hier kurz eingegangen.

1. Materialienkunde. Haupterfordernis ist zunächst eine möglichst umfangreiche Kenntnis der Materialien, ihrer technologischen Eigenschaften und ihrer besonderen Eignung für physikalische Arbeiten.

Holz. Für vorübergehende Versuchsanordnungen ist das Holz ein besonders brauchbarer Baustoff. Seine Festigkeit ist besonders groß in der Faserrichtung bei Esche, Eiche, Buche und Kiefer. Die Bearbeitung wird durch die Spaltbarkeit wesentlich erleichtert, die in der Faserrichtung und in der Richtung der Markstrahlen bei Rotbuche, Tanne, Kiefer, Fichte, Erle und Pappel besonders deutlich auftritt, während sie der Weißbuche und Ulme fast ganz fehlt. Gegen das störende Schwinden und Quellen des Holzes, besonders groß in der Richtung der Jahresringe, hilft Schutz gegen Wärmestrahlen und Feuchtigkeit durch Oelen oder Lackieren der Oberfläche, Anschrauben von Metallschienen oder Einschieben von Holzleisten senkrecht zur Faserrichtung, Verleimen von drei Schichten mit gekreuzter Faserrichtung, Tränken mit Paraffin (oder konzentrierter Zuckerlösung) im luftverdünnten Raum. Die Biegsamkeit läßt sich durch Behandlung mit Wasserdampf erhöhen; beim Trocknen muß das Holz in der gewünschten Form festgehalten werden. Dem Kunstholz (z. B. dem Xylolith der Parkettfabrik Langenargen a. B.) fehlen die meisten störenden Eigenschaften des Naturholzes; dafür ist es aber schwer bearbeitbar.

Für besondere Zwecke werden verwendet: Mahagoni für feine Kästen und Instrumententeile, Rotbuche für Gußmodelle, Linde und Pappel für Polierscheiben, Weißtanne für akustische Apparate, Kiefer für Meßlatten, Esche und Hickory für Griffe und Stiele.

An Metallen kommen in Betracht[1]):

Eisen, in den drei Hauptsorten: Schmiedeeisen, Stahl, Gußeisen, deren mechanische und physikalische Eigenschaften mit dem Gehalt an Kohlenstoff und anderen Zusätzen außerordentlich veränderlich sind. Sie dienen als wohlfeiles Material für dauernde sowie größere Festigkeit und Konstanz voraussetzende Einrichtungen. Zu besonderen Zwecken dienen u. a.: Schwedisches Holzkohlen-Eisen für Magnetkerne (Ersatz Bindedraht), Stähle mit Wolframzusatz für permanente Magnete (künstlich gealtert), Invarstahl (36 % Ni enthaltend) mit sehr geringer Wärmeausdehnung für metrologische Zwecke verschiedener Art (Nachwirkungserscheinungen!), richtbarer zäher Temperguß (Gußeisen mit Schmiedeeisenmantel), Zementstahl (Schmiedeeisen mit härtbarem Stahlmantel), Werkzeugstähle verschiedener Zusammensetzung, auch mit Schnittfähigkeit bei hohen Temperaturen (Schnelldrehstahl). Alle Eisensorten verlangen eine besondere mechanische und thermische Behandlung; vor allem die Werkzeugstähle, bei denen der Härtungsvorgang und das Anlassen von größtem Einfluß auf die Verwendbarkeit ist. Bei Gußeisen erfordert das Schwinden (linear etwa $^1/_{92}$) besondere Berücksichtigung in den Abmessungen größerer Gußmodelle. Auch mit Spannungen in Gußstücken ist zu rechnen, weil sie zonenweise die Wärmeausdehnung meßbar ändern können. Gehärtete Stahlkörper, z. B. Maßkörper, unterliegen noch lange Zeit nach ihrer Fertigstellung fortschreitenden Dimensionsänderungen, wenn sie nicht durch etwa zehnstündiges Erwärmen auf 150° im Oelbad künstlich gealtert wurden. Für Stahlfedern, welche zu Meßzwecken dienen sollen, gelten die gleichen Bedenken; hier treten aber noch die dauernden Formänderungen hinzu, die durch gelegentliches Ueberschreiten der Elastizitätsgrenze bedingt sind. Besonders zu rechnen hat der Physiker mit dem Rosten der Eisenlegierungen. Am sichersten schützen gegen Rost Metallüberzüge aus Sn, Zn oder Ni; an ihre Stelle können Leinölanstriche treten mit Beimengung von Bleiweiß, Blei- oder Eisenmennige, Graphit. Wichtig ist, daß zwei Nickelstahllegierungen dem Rosten nur wenig ausgesetzt sind: Nickelstahl mit 42 % Ni (Wärmeausdehnung 7 μ pro 1 m und 1° C) und solcher mit 56 % Ni (Wärmeausdehnung 11,5 μ).

Kupfer und Kupferlegierungen. Unlegiertes Kupfer kommt wesentlich als Leitungsmaterial für elektrische Zwecke zur Verwendung. Die Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker schreiben für Normalkupfer max. 17,5 Ohm pro 1 km

[1]) Vgl. hierzu die Artikel „Metalle" und besonders „Legierungen".

Digitized by Google

und 1 qmm bei 15° C vor. Umsponnener Leitungsdraht, dessen Kupfer dieser Vorschrift entspricht, trägt in der Umspinnung einen kupferroten Normalfaden; außerdem einen Kennfaden, dessen Färbung unter Zuhilfenahme einer Mustertafel den Namen der Fabrik ergibt. Außer für elektrische Zwecke kommt Kupfer noch in allen den Fällen in Betracht, wo seine hervorragende Wärmeleitfähigkeit nutzbar gemacht werden soll.

Die Kupferlegierungen sind die hauptsächlichsten Baustoffe der physikalischen Technik. Man unterscheidet im wesentlichen Messing (Cu und Zn im ungefähren Verhältnis 2:1), Tombak oder Rotguß (Cu und Zn mit maximal 18 % Zn) und Bronze (Cu und Sn in verschiedenen Legierungsverhältnissen). Am häufigsten wird Messing in Form von Halbfabrikaten (Draht, Blech, Rohr usw.) und Gußteilen verwendet. Gezogenes oder gewalztes Messing ist nicht spannungsfrei und verzieht sich beim Bearbeiten; durch gleichmäßiges Erwärmen der Stücke auf die Schmelztemperatur des Zinns wird dieser Fehler vermindert. Messingguß hat beträchtliches Schwindmaß (ca. $^1/_{64}$ linear) und ist häufig porös; durch kräftiges Hämmern läßt sich der Guß verdichten. Da für gewöhnlichen Messingguß häufig Altmetall verwendet wird, ist er selten eisenfrei. Für feine magnetische Instrumente ist besonders eisenfreier Guß zu fordern. Als Messing, in dem ein Teil des Zinks durch Ni ersetzt ist, kann man das Neusilber betrachten. Es ist weniger gut gießbar als Messing, hat aber sonst gute mechanische Eigenschaften. Zusammensetzung und Charakter der Bronzen ist außerordentlich verschieden. So ist Bronze mit 1 bis 2 % Sn noch in der Kälte hämmerbar, während sie sich bei 5 % Sn nur in Rotglut hämmern läßt; ihre Festigkeit ist bei 17,5 % Sn am größten, die Härte läßt bei 28 % Sn noch eine Bearbeitung zu und wächst weiter bis 50 % Sn. Durch Erhitzen und schnelles Abkühlen wird Bronze weicher und dehnbarer (Anlassen). Eine Bronze mit 69 % Cu, 31 % Sn und 2 % Ni kann als Spiegelmetall Verwendung finden. Daneben gibt es noch Bronzen mit besonderen Zusätzen: z. B. Phosphorbronze, Manganbronze, Aluminiumbronze (am besten 90 Cu 10 Al). Auch das hervorragend feste und haltbare Deltametall gehört hierher.

Zink. Für provisorische Einrichtungen ist auch das Zink wegen seiner leichten Bearbeitbarkeit besonders geeignet. Vor allem läßt es sich, auf ca. 120° C erwärmt, sehr leicht biegen. Es ist jedoch zu beachten, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient des Zinks durch andauernde Erwärmung inkonstant wird. Gut gießbar wird Zink erst mit einem Zinnzusatz.

Aluminium und seine Legierungen. Das technisch reine Aluminium hat gewisse Eigenschaften, die seine allgemeinere mechanische Verwendung behindern. Es läßt sich, abgesehen durch Drücken, nicht so leicht bearbeiten wie die bisher erwähnten Metalle; die Lötungen an Aluminium sind nicht unbedingt haltbar; durch Wasser und alkalische Lösungen wird es angegriffen. Die Bearbeitbarkeit wird z. B. durch Legierung mit Magnesium wesentlich verbessert. Dem so entstehenden Magnalium lassen sich durch geeignete Bemessung des Magnesiumzusatzes recht verschiedene mechanische Eigenschaften geben. Die Entwickelung der Luftschiffahrt hat indes noch eine große Reihe von Leichtlegierungen entstehen lassen. So sind Nickel-Aluminiumlegierungen für Apparatteile besonders geschätzt; auch das Duraluminium gehört hierher.

Blei. Blei dient für Gegengewichte und Schleifscheiben; auf die Giftigkeit seiner Dämpfe ist zu achten. Es läßt sich besonders leicht autogen schweißen. Die Hartbleilegierungen (Sb enthaltend) sind leicht und dicht gießbar.

Nickel. Nickel kommt für Tiegel, gelegentlich auch als Limbuseinlage für gußeiserne Teilkreise (wegen der nahen Uebereinstimmung der Wärmeausdehnung beider Stoffe) zur Verwendung. Von Wichtigkeit sind die Nickellegierungen für Widerstandsdrähte, welche bei hohem spezifischen Widerstand meist einen geringen Temperaturkoeffizienten der Leitfähigkeit zeigen. Hierher gehören: Patentnickel, Konstantan, Nickelin, Rheotan, Manganin, Kruppin u. a.

Silber. Silber findet rein und legiert mannigfache Verwendung; zunächst zu Spiegeln. Diese Verwendung wird erleichtert durch die Möglichkeit, Glas zu versilbern, entweder durch Kathodenzerstäubung oder nach dem bekannten Böttgerschen Verfahren: Man bringt das sorgfältigst mit Salpetersäure, Aetzkali, Kaliumbichromat und Alkohol gereinigte Glas in eine Mischung von gleichen Raumteilen nachfolgender Lösungen: 1) 5 g Silbernitrat wird in destilliertem Wasser gelöst und soviel Ammoniak zugesetzt, daß der Niederschlag fast verschwindet. Man filtriert und verdünnt auf 500 ccm. 2) In 500 ccm siedendes Wasser gießt man 1 g in Wasser gelöstes Silbernitrat, darauf noch 0,83 g Seignettesalz und läßt kurze Zeit sieden, bis der Niederschlag grau wird. Dann wird filtriert. Dauer der Versilberung, welche je nach der gewünschten Stärke wiederholt werden muß, ca. 1 Stunde, bei Erwärmung von 2) auf 70° C schneller. Die Lösungen sind im Dunkeln haltbar. Silberpulver mit Cremortartari und Kochsalz auf fettfreies Messing aufgerieben, gibt auf Messing

Digitized by Google

einen für Teilungen geeigneten weißen Ueberzug. Nach neueren Untersuchungen behalten frische Silberflächen (z. B. Spiegel) ihr Reflexionsvermögen am längsten bei Aufbewahrung in trockener Luft. Feinsilber und Silber mit 4 bis 6 % Cu ist als Limbusmetall für Teilkreise und Maßstäbe geeignet. Auch als gelegentlicher Ersatz für Platingefäße zu chemischen Zwecken findet es Verwendung. Silberlot ist wegen seiner Dünnflüssigkeit besonders geschätzt. — Auch Gold eignet sich für Spiegel. Meist dient es indes zur Herstellung chemisch widerstandsfähiger Ueberzüge auf unedlen Metallen, so z. B. bei feinen Gewichtssätzen.

Platin. Platin findet außer zu seinen alten Zwecken wie Blattgewichten, Kontakten usw. umfangreiche Verwendung zu Widerstandsthermometern und Thermoelementen. Mit 10 % Iridium ist es zu Längen- oder Gewichtsnormalen geeignet, mit 25 % Palladium zu Limbuseinlagen, mit Rhodium zu Thermoelementen, mit Silber zu Hitzdrähten. Platinüberzüge auf Glas erhält man durch Bestreichen mit einer platinchloridhaltigen Lösung und Glühen im Muffelofen. Die Lösung besteht aus 3 g Platinchlorid in 10 ccm absolutem Alkohol, versetzt mit 30 ccm konzentrierter Borsäurelösung in Alkohol; hierzu die doppelte Menge venezianisches Terpentin und Lavendelöl, je nach der beabsichtigten Dickflüssigkeit in verschiedenem Verhältnis: mäßig dünnflüssig für optische Ueberzüge, dickflüssig für kräftige Ueberzüge, welche nach dem Verkupfern zum Weichlöten von Glasteilen dienen sollen. Die Lösung für Spiegel wird am besten durch Aufpressen und Abziehen einer zweiten Glasplatte fein verteilt, dann erfolgt Erwärmung auf schwache Rotglut. Dickere Schichten verlangen starke Rotglut.

Quecksilber. Für manche Zwecke ist seine zuverlässige Reinigung eine besondere Aufgabe der physikalischen Technik. Als sichere Methode kommt eigentlich nur die Destillation im Vakuum in Frage; sie ist neuerdings dadurch verbessert worden, daß man das Prinzip der Quecksilberbogenlampe für eine sichere und bequeme Reinigung herangezogen hat. Langsamer, aber noch gründlicher wirkt die elektrolytische Reinigung.

Amalgame. Amalgamiert werden: Zink und Kupfer, sowie Legierungen aus beiden durch Eintauchen in Quecksilber oder Einreiben damit nach vorherigem Beizen in verdünnter Salpetersäure, ferner durch Eintauchen in eine schwach saure Lösung von Quecksilbernitrat; auch metallisch reines Platin amalgamiert sich durch Eintauchen, besser als Kathode in Quecksilbernitratlösung; Eisen muß vorher verzinnt werden.

Wismut. Erwähnen wir noch das Wismut und seine Verwendung zu Thermoelementen sowie als Komponente von Legierungen mit niedrigem Schmelzpunkt, so sind damit wenigstens die Hauptmetalle genannt.

Glas. Glas ist für chemische, thermische oder optische Sonderzwecke in den mannigfachsten Sorten im Handel. Wichtig für seine allgemeine Brauchbarkeit ist das Verhalten gegen Wasser. Bringt man Glasproben in mit Wasser gesättigten Aether, welcher mit $^1/_{10}$ % Eosin gefärbt ist, so nimmt die Probe ein um so stärkeres Rot an, je löslicher sie im Wasser ist. Durch wiederholte Behandlung mit warmem Wasser wird die Löslichkeit allmählich vermindert. Die für die Bearbeitung durch Blasen (siehe Literatur) wichtige Schmelzbarkeit ist zum Teil abhängig vom Alkaligehalt. Leicht schmelzbar sind Natrongläser, schwer Kaligläser. Gutes Thüringer Glas enthält Kali und Natron im Verhältnis 1:2. Das sogenannte Einschmelzglas zum Vereinigen gewöhnlicher Gläser mit Platindrähten ist ein besonders leicht schmelzbares Bleiglas. Spezialgläser für alle physikalischen Zwecke liefern Schott und Genossen in Jena.

Zum Schneiden des Glases verwendet man den Diamant oder Sprengkohle, statt letzterer auch glühende Platindrähte. Enge Rohre oder Stäbe ritzt man mit dem Glasmesser und bricht sie. Zum Bohren von Glas eignet sich ein spitzer Dreikantbohrer aus hartem Stahl, der mit Terpentin geschmiert wird. Größere Löcher schleift man mit einem rotierenden Kupferrohr und Carborundum (mit Wasser oder Oel) aus. Das Ausspringen der Ränder vermeidet man durch Aufkleben von Papier auf beiden Seiten des Glases.

Quarzglas. Quarzglas ist chemisch besonders widerstandsfähig und nicht hygroskopisch; seine Wärmeausdehnung wie elastische Nachwirkung sind gering, es verträgt deshalb starke Abkühlung. Infolge seiner Härte und schweren Schmelzbarkeit ist es schwerer bearbeitbar als gewöhnliches Glas. Man beziehe es daher in möglichst definitiver Form. Quarzfäden für Nadelaufhängungen lassen sich folgendermaßen herstellen. Man befestigt ein Quarzstäbchen mit einem Ende auf dem Kolben einer Armbrust, mit dem anderen am Hinterende des Bolzens. Nachdem die Mitte des Stäbchens mit der Knallgasflamme erreicht worden ist, schießt man den Bolzen gegen ein in großer Entfernung stehendes Brett. Die Fäden lassen sich durch die gewöhnliche Glasversilberung leitend machen.

Weichgummi. Weichgummi-Waren werden durch Ozon verdorben. Man verwahrt sie im Dunkeln auf, am besten in geschlossenen, durch ein Wassergefäß feucht gehaltenen Ton- oder Metallgefäßen, nicht

Digitized by Google

in Holz. Löcher in Weichgummi bohrt man mit dem Korkbohrer, der mit verdünnter Natronlauge benetzt ist.

Hartgummi. Hartgummi verzieht sich leicht durch einseitige Erwärmung. Verzogene Hartgummiplatten legt man zum Richten zwischen schwere, erwärmte Eisenplatten und läßt unter Druck erkalten.

Es empfiehlt sich, Holz gleich auf verschiedene Dicken gehobelt zu beschaffen, sowie Metalle namentlich in gezogenen Profilen vorrätig zu halten. Vor allem Eisen ist jetzt in allen gebräuchlichen Abmessungen so genau gezogen erhältlich, daß eine besondere Oberflächenbearbeitung oft entbehrt werden kann.

2. Löten und Schweißen. Besonders häufig kommen Weichlötungen vor. Hierfür sind die meisten Metalle und Legierungen geeignet; metallische Reinheit der Verbindungsflächen, ihr Schutz durch oxydlösende Flußmittel (z. B. Chlorzink- Chlorammoniumlösung), angemessene, nicht zu starke Erwärmung (auf Holzkohlen, im Bunsenbrenner oder mit dem Lötkolben) und Vereinigung der Lötnaht unter Druck sind Hauptbedingungen für eine sichere Lötung. Als Lotmetalle kommen namentlich Zinn-Blei-Legierungen zur Verwendung, deren Schmelzpunkt mit der Menge des Bleigehaltes von 180° bis 230° schwanken kann. Durch Wismutzusatz kann der Schmelzpunkt auf etwa 90° herabgesetzt werden; solche leichtflüssige Lote sind indes spröde. Das Lotmetall kommt in Anwendung in Form dünner Streifen, in Röhrchen (gleich mit dem Flußmittel gefüllt) oder in Pulverform (Tinol). Für den Laboratoriumsgebrauch sind die beiden letzten Formen besonders bequem. Zum Löten von Aluminium dient u. a. eine Legierung 20 Zn 15 Cd ohne Flußmittel auf blank geschabten Vereinigungsflächen. Der Dauerhaftigkeit solcher Lötungen muß aber immer noch Mißtrauen entgegengebracht werden. Das Hartlöten der Metalle erfordert besondere Uebung und Erfahrung. Es sei darauf hingewiesen, daß die Physikalisch-Technische Reichsanstalt einige silberhaltige Messing-Schlaglote ausgeprobt hat, welche zuverlässig wirken. Als Flußmittel dient beim Hartlöten Borax. Zum Löten von Platin kann Silber oder Kupfer verwendet werden; als Wärmequelle dient dabei die Gebläseflamme. Platin läßt sich auch schweißen, wenn man die zu verbindenden Stücke unter inniger Berührung in der Spitze der Gebläseflamme weißglühend macht und durch wenige Hammerschläge vereinigt. Im Sauerstoffgebläse ist die autogene Schweißung möglich, ein Verfahren, welches auch bei anderen Metallen in Blechform, Anwendung finden kann.

3. Kitte und Klebemittel. Warm sind zu gebrauchen: Wachskitt, ein Gemisch von Wachs und Kolophonium zu ungefähr gleichen Raumteilen, Schellack, Siegellack, Marineleim (Kautschuk mit Schellack und Teer), Paraffin (Schmelzpunkt je nach Qualität 40 bis 76° C); kalt binden: Bleiglätte (20 g) und Glyzerin (5 ccm), Bleiglätte oder Mennige mit Leinölfirnis, Kasein mit gesättigter Boraxlösung, Hausenblase, Wasserglas. Zum Dichten von Luftpumpenglocken und Hähnen dient eine zähe Mischung Hammeltalg mit Olivenöl oder Wachs mit Knochenöl.

4. Schleifen und Polieren. Hierzu bieten sich sehr vielseitige Mittel: zunächst an Naturprodukten Schmirgel, Tripel, Bimsstein, Eisenoxyde, Kreide, feine Sandsteine und sogenannte Oelsteine; dann an synthetischen, besonders reinen Materialien Karborundum, Alundum, Karbosilizium, künstlicher Korund, Pariser Rot, Zinnasche, Wiener Kalk. Ihr Anwendungsgebiet ist der Härte entsprechend verschieden. Schmirgel in allen Körnungen, auch geschlemmt, kann für die meisten Metalle verwendet werden. Karborundum eignet sich gut für Porzellan und Glas, Zinnasche und Rot für Stahl, Bimsstein für Messing und Holz, Tripel für Edelmetalle. Als Schleif- bezw. Polierunterlage dient, je nach den Anforderungen an die geometrische Gestalt des Werkstücks, Metall (Eisen oder Bronze, auch Blei), Glas, Polierpech (mit heißer Spiegelglasplatte geebnet), Holz (Pappel oder Linde) ohne Ueberzug oder mit Leder, z. B. vom Walroß, überklebt. Die Schleifmittel werden meist angefeuchtet aufgetragen mit Wasser, Alkohol, Stearinöl oder Talg. In staubigen Räumen wird Hochglanzpolitur nur selten gelingen.

5. Lackieren und Galvanisieren. Zum Schutz metallischer Oberflächen gegen Agentien aller Art sind galvanische Metallüberzüge besonders geeignet. Für die meisten Verfahren sind fertige, nur in Wasser zu lösende Badmischungen im Handel. Einige einfache Bäder, bezogen auf 1 l Wasser, mit Angabe der zweckmäßigen Stromdichte pro qdm seien hier mitgeteilt:

Nickelbad: 70 g Nickelammoniumsulfat krist., 25 g Ammoniumsulfat, 5 g Zitronensäure; 0,5 bis 1 A.

Kupferbad: 20 g Kupferazetat krist., 20 g Cyankalium, 17 g Soda, 25 g Natriumsulfit; 0,4 bis 0,5 A.

Goldbad: 10 g Goldchlorid, 20 g Cyankalium; 0,2 bis 0,25 A.

Platinbad, blank: Platinsalmiak, aus 37 g Platinchlorid gefällt, wird in eine heiße Lösung von 510 g Soda, 250 g Zitronensäure in 1 l Wasser eingetragen. Gebrauchstemperatur 80° C.

Platinbad, schwarz: 1 T. Platinchlorid,

Digitized by Google

0,008 T. Bleiacetat auf 30 T. Wasser; ca. 3 A.

In vielen Fällen genügt als Oberflächenschutz eine Lackschicht. Für Metalle besonders bequem anwendbar ist der Zaponlack, eine Lösung von Zelluloid in Amylacetat, Aceton und Schwefeläther mit und ohne Farbstoff. Kleinere Gegenstände können durch Tauchen lackiert werden. Die heiß aufzutragenden gelben und grünen Alkohol-Schellack-Lacke treten im Gebrauch zurück. Auf Holz verwendet man Modelllacke. Für manche Zwecke ist Mattierung der Oberfläche mit dem Sandstrahlgebläse und nachherige Vernickelung angezeigt. Für besondere Untersuchungen ist auch die Kathodenzerstäubung geeignet.

6. Mechanische und thermische Störungen. Besonders Rücksicht zu nehmen hat die physikalische Technik auf Störungen verschiedener Art. Hierher gehören die Erschütterungen, welche vom Erdboden ausgehen. In einfacheren Fällen wird man sich durch Dämpfungen helfen können. Man verbindet das zu dämpfende Glied der Anordnung mit einem möglichst leichten Flügel, welcher in Flüssigkeit oder Luft hineinragt. Das Gefäß hierfür soll mit Deckel versehen sein und kann durch radiale Wände noch in engere Kammern geteilt sein. Je kleiner die Ausschläge, desto enger können die Kammern sein. Der Flügel kann auch die Form einer kleinen Kreisfläche haben, welche mit möglichst geringem Spielraum in einem einseitig geschlossenen Zylinder spielt. Solche Dämpfungen, mit Wasser, Glyzerin oder Luft gefüllt, können auch vertikale Schwingungen aufnehmen. Ein Stück Kupfer, welches vor oder zwischen den Polen eines Magneten schwingt, kann gleichfalls als Dämpfer dienen. In einzelnen Fällen können Erschütterungen auch durch Resonanzerscheinungen bedingt sein. Dann ist unter Umständen eine Aenderung der Schwingungszahl des zitternden Instrumententeiles von Nutzen. Als erschütterungsfreie Aufstellung kann auch eine sehr schwere Metallmasse (wie beim Seismometer) dienen, welche auf einer elastischen Unterlage liegt. Auch vom Gebäude isolierte Pfeiler erschweren die Uebertragung von Erschütterungen aus der Nähe. Für Instrumente mit Spiegelablesung und solchen, an denen nur selten Handgriffe vorgenommen werden, eignet sich die Juliussche Aufhängung. Erschütterungen durch Luftströmungen sind durch Umschlußkästen abzuhalten oder auch durch engmaschige Metallnetze.

In vielen Fällen ist auch ein Schutz gegen Wärmestörungen nötig. Gut ist es, schon bei der Disposition der Versuchseinrichtungen darauf Rücksicht zu nehmen. Die einzelnen Teile sollen sich bei Temperaturänderungen zwangsfrei gegeneinander verschieben können; wo es möglich ist, soll man auf Kompensationswirkungen der verschiedenen Materialien bedacht sein oder Stoffe mit geringer Wärmeausdehnung wählen, z. B. Invarstahl oder Quarzglas. Daneben können Wärmeschutzmittel zur Anwendung kommen in Form isolierender Hüllen. Als Wärmeisolatoren kommen in Frage: evakuierte Zwischenräume zwischen reflektierenden Schichten (Silberspiegel, Nickelpapier, Aluminiumfolie), Filz, Watte, Seidenabfälle, Kieselgur, Korkplatten, Asbest; auch Holz mit Luftschichten kommt in Betracht. Die magnetischen und elektrischen Störungen gehören ebenfalls hierher (vgl. den Artikel „Elektrischer Strom").

7. Allgemeines. Zum Aufbau physikalischer Versuchsanordnungen besonders geeignet ist das von W. Volkmann angegebene physikalische Präzisionsstativ (früher bezeichnet als physikalischer Baukasten), welches von Leppin und Masche in Berlin angefertigt wird. Dieser Universalapparat setzt sich zusammen aus Stativunterteilen, Stäben, Stielen, Tischchen, Muffen, Schiebegewichten, Klemmen, Ringen und Drehungsachsen verschiedener Größe, deren Paßteile nach dem Grundsatz der Austauschbarkeit dimensioniert sind.

Literatur. **J. Frick.** *Physikalische Technik oder Anleitung zu Experimentalvorträgen, sowie zur Selbstanfertigung einfacher Demonstrationsapparate. 7. vollkommen umgearbeitete und stark vermehrte Auflage von Prof. Dr.* **O. Lehmann.** *Braunschweig 1904 bis 1909.* — **F. Kohlrausch,** *Lehrbuch der praktischen Physik. 11. Aufl. Leipzig und Berlin 1910.* — **Meyer,** *Technologie des Maschinentechnikers. 9. Aufl. Berlin 1911.* — **Harrwitz,** *Taschenbuch für Präzisionsmechaniker usw. Berlin-Nikolassee 1912.* — **Hovestadt,** *Jenaer Glas usw. Jena 1900.* — **Ebert,** *Anleitung zum Glasblasen. Leipzig 1895.* — **Günther,** *Quarzglas. Berlin 1911.* — **Hänig,** *Der Schmirgel. Wien und Leipzig 1910.* — **Lehner,** *Kitte und Klebstoffe. 7. Aufl. Wien und Leipzig 1909.* — **Pfannhauser,** *Die elektrolytischen Metallniederschläge. Berlin 1910.* — **Volkmann,** *Der Aufbau physikalischer Apparate aus selbständigen Apparatenteilen. Berlin 1905.*

F. Göpel.

Physiologie der Pflanzenzellen

vgl. den Artikel „Zelle" (botanisch).

Digitized by Google

Physiologie.

1. Begriff der Physiologie. 2. Einteilung der Physiologie. 3. Geschichte der Physiologie. 4. Methoden der Physiologie.

1. Begriff der Physiologie. Physiologie im allgemeinsten Sinne bedeutet die Lehre vom Leben. Es ist indessen nötig, Begriff und Aufgabe der Physiologie mit Rücksicht auf andere Wissenschaften noch etwas eingehender zu charakterisieren.

Man hat mehrfach in neuerer Zeit versucht, den alten Begriff der Physiologie in seinem allgemeinen Sinne zu ersetzen durch den Ausdruck „Biologie". Die Biologie als die Lehre vom Leben soll alle einzelnen Wissenschaften umfassen, die sich mit einem speziellen Gebiet des Lebens beschäftigen, wie die Morphologie, die Embryologie, die Zoologie, die Botanik, die Anthropologie, die Paläontologie, die Anatomie, die Histologie, die Pathologie, die Psychologie und auch die Physiologie in einem engeren Sinne, nämlich als Lehre von den normalen Funktionen der Organe des Organismus. In dieser Verwendung des Begriffes Biologie wäre derselbe nahezu identisch mit dem allgemeinen Begriff der Physiologie. Allein der Begriff der Biologie ist ebenfalls wieder in engerem Sinne gebraucht worden, und zwar leider nicht in einheitlicher Weise. Es herrscht in seiner praktischen Verwendung sehr große Unklarheit. Man hat ihn auch gebraucht, um die Lehre von den allgemeinen Lebensbedingungen zu bezeichnen, oder auch für die Lehre von den Wechselbeziehungen der Organismen untereinander. So sind die Ausdrücke „Physiologie" sowohl wie „Biologie" heute nicht eindeutig. Um eine einheitliche Verwendung der beiden historisch berechtigten Begriffe durchzuführen, dürfte es vielleicht am zweckmäßigsten sein, den neueren Begriff „Biologie", der geschaffen wurde, als der Kreis der Erfahrungen ein viel größerer war als zur Zeit, wo der Begriff „Physiologie" entstand, auch im allgemeinsten Sinne zu gebrauchen als denjenigen Begriff, der alle einzelnen Wissenschaften umfaßt, die sich mit irgendeinem Problem des organischen Lebens beschäftigen, und den Begriff „Physiologie" zu reservieren für ein etwas engeres Gebiet. Die Physiologie würde dann zu bezeichnen sein als die Lehre von dem normalen Geschehen in den lebendigen Organismen.

In dieser Umgrenzung würde aus dem Begriff der Physiologie ausgeschieden sein die rein beschreibende Morphologie (Anatomie, Histologie, Zoologie, Botanik, somatische Anthropologie, Paläontologie) und die Pathologie. Dagegen zeigt sich heute mehr und mehr, daß wir nicht ausscheiden können aus dem Begriff der Physiologie die Morphologie, soweit sie die Formbildung behandelt. Der alte, nach Maßgabe der früheren Kenntnisse geschaffene Gegensatz zwischen Morphologie und Physiologie, der in früherer Zeit sehr scharf zu sein schien, beginnt heute bei tieferer Analyse des Formbildungsproblems zu schwinden. Wir wissen heute, daß die Formbildung, wie sie sich in der Entwickelung äußert, nur ein Ausdruck des Geschehens in der lebendigen Substanz ist wie der Stoffwechsel und die Energieumsetzungen, und daß sie sich von den beiden letzteren Seiten des Lebensvorganges überhaupt nicht trennen läßt. Ja, wir wissen auch, daß die scheinbar beständige Form des sogenannten erwachsenen Organismus, so wie schon die Form einer einzelnen freilebenden Zelle und die Form der feinsten Strukturen in ihr, in Wirklichkeit während des Lebens nichts Festes und Starres ist, nichts Stabiles und Fixes, wie etwa die Form eines Kristalls, sondern nur der Ausdruck eines ganz bestimmten Komplexes von Vorgängen, so wie die Schmetterlingsform einer Gasflamme oder die kunstvolle Wasserfigur eines Springbrunnens. Während des ganzen Lebens wird die Form immer wieder gebildet und unterhalten nur durch die spezifische Anordnung der Vorgänge im lebendigen System. Fest und starr ist die Form des Organismus bloß dann, wenn das Leben unter irgendwelchen Bedingungen zum Stillstand gekommen und die Form durch irgendwelche Mittel fixiert ist. Also nur soweit die Morphologie in den verschiedenen Gebieten der Organismenwelt sich mit festen, unveränderlichen Formen beschäftigt, für deren Existenz es gleichgültig bleibt, ob das Objekt noch lebendig oder versteinert oder durch Konservierungsmittel fixiert ist, nur insofern läßt sie eine Abgrenzung gegen die Physiologie zu. Insofern die Morphologie aber die Formbildung des lebendigen Organismus als Objekt behandelt, ist sie ein Teil der Physiologie.

2. Einteilung der Physiologie. Infolge des ungeheueren Umfanges, den die Physiologie als die Lehre von den objektiven Lebensvorgängen im normalen Organismus hat, und infolge der Verschiedenartigkeit der großen Organismengruppen, die auch gleichzeitig eine verschiedene Forschungsmethodik erfordert, hat sich die Physiologie in verschiedene Sondergebiete differenziert, zunächst in die spezielle und die allgemeine Physiologie. Die großen Teile der speziellen Physiologie sind die Tierphysiologie und die Pflanzenphysiologie.

Die Tierphysiologie umfaßt zugleich die menschliche Physiologie, ein Gebiet,

Digitized by Google

welches das Interesse der praktischen Medizin ganz besonders in den Vordergrund gestellt und hoch entwickelt hat, das aber nichtsdestoweniger nur im Zusammenhang mit der Tierphysiologie bearbeitet werden kann, da der Mensch physiologisch nur eine spezielle Säugetierform vorstellt, und da man die Forschungsmethoden der Physiologie vielfach nicht auf den Menschen direkt, wohl aber auf seine nächstverwandten Säugetierformen anwenden kann, von denen man dann indirekt Aufschlüsse für den Menschen gewinnt.

Die Pflanzenphysiologie hat erst viel später eine besondere Entwickelung erfahren, da sie anfangs nicht so direkt die praktischen Interessen des Menschen zu berühren schien, bis man mehr und mehr erkannte, daß z. B. eine rationelle Landwirtschaft gar nicht ohne eine genaue Kenntnis der Vorgänge im Pflanzenkörper ihre Aufgabe erfüllen kann.

Neben diesen beiden speziellen Gebieten der Physiologie hat sich als jüngster Zweig noch die allgemeine Physiologie entwickelt. Das Wesen der allgemeinen Physiologie liegt nicht in der Summe aller Kenntnisse der Tier- und Pflanzenphysiologie zusammengenommen, sondern das Objekt der allgemeinen Physiologie ist die Kenntnis der Lebensvorgänge, die aller lebendigen Substanz gemeinschaftlich sind. Die allgemeine Physiologie ist also die Lehre von den allgemeinen Lebensvorgängen und besteht in der Charakterisierung des allgemeinen abstrahierten Begriffes „Leben".

3. Geschichte der Physiologie. Die Wurzeln der Physiologie gehen weit zurück bis in die naiven Vorstellungen der prähistorischen Völker, über die uns die heute noch auf gleicher Kulturstufe lebenden Wildstämme einige Aufklärung geben. Zum mindesten hat man seit dem Ende der älteren Steinzeit in Europa angefangen, sich Gedanken über das Leben zu machen. Aus jener Zeit etwa stammt die allgemeine Vorstellung eines Dualismus des menschlichen Wesens, die Unterscheidung von Leib und Seele. Frühzeitig hat man auch, wie die heutigen primitiven Völker und die ältesten Lehren der historischen Zeit beweisen, die Bedeutung der Atmung und der Blutzirkulation für das Leben erkannt. Gewisse Indianerstämme der Pueblo-Region in Nordamerika unterscheiden vom Körper das Blut als die rote, und den Atem als die weiße Seele, an die das Leben und das Bewußtsein gebunden ist. Die Idee, daß die Seele den Körper verlassen und ein selbständiges Leben weiterführen kann, während der Körper tot zurückbleibt, ist allgemein verbreitet und findet noch in der Glaubenslehre der frühhistorischen Völker des Ostens als Lehre von der Seelenwanderung ihren Ausdruck. Die Seele galt dem primitiven Denken aber nicht in unserem Sinne als etwas Immaterielles, sondern nur als etwas Feineres wie der Körper. Noch in der Lehre der griechischen Atomisten Leukippos und Demokritos bestand die Seele aus Atomen, allerdings von feinerer Art als die Körperatome. In der „Pneumalehre", die unter den Schülern des griechischen Arztes Hippokrates (460 bis 377 v. Chr. Geb.) sich entwickelte und die den ersten Versuch vorstellt, die Lebensäußerungen des Menschen- und Tierkörpers sämtlich aus einem einheitlichen Prinzip verständlich zu machen, erkennen wir noch deutlich den alten prähistorischen Seelenbegriff in seiner ursprünglichen Form. Das „Pneuma" ist die Seele, d. h. der Atem der primitiven Völker, und bildet die causa movens für alle Lebensäußerungen. Galen (131 bis ca. 200 n. Chr. Geb.) hat diese Pneumalehre zu einem vollständigen physiologischen System ausgebaut, das die Grundlage der späteren medizinischen Vorstellungen geworden ist bis in den Ausgang des Mittelalters hinein. Dieses erste physiologische System, das sämtliche Lebensäußerungen aus einem einheitlichen Prinzip zu erklären versuchte, gipfelt in folgender Lehre. Die vier Grundsäfte des Blutes, des Schleimes, der gelben und der schwarzen Galle setzen den menschlichen Körper zusammen. Sie werden belebt durch die verschiedenen Formen des Pneuma und verrichten mit Hilfe derselben die Funktionen der einzelnen Organe. Die Grundfunktionen des Körpers sind 1. die psychischen, 2. die sphygmischen und 3. die physischen Funktionen. Jede dieser drei Grundfunktionen wird unterhalten durch eine besondere Form des Pneuma, und zwar: die psychischen Funktionen, wie das Denken, Empfinden und Wollen durch das „Pneuma psychikon" im Gehirn; die sphygmischen Funktionen, wie Herzschlag, Blutzirkulation und Wärmebildung durch das „Pneuma zotikon" im Herzen; die physischen Funktionen, wie Ernährung, Sekretion, Wachstum und Fortpflanzung durch das „Pneuma physikon" in der Leber. Alle drei Formen des Pneuma sind aber nur durch ihre Wirkungen unterschiedene Teile des einheitlichen Pneuma, das als ein äußerst feiner Bestandteil der Luft, dessen Isolierung, wie Galen voraussagt, in Zukunft einmal gelingen wird, bei der Atmung von den Lungen eingesogen wird und von hier aus in das Blut gelangt. Das Blut transportiert das Pneuma in alle Organe, wo es nun als Pneuma psychikon, sphygmikon und physikon die spezifischen Funktionen hervorruft. Es ist merkwürdig, wie diese alte Lehre vom Pneuma, die im

Digitized by Google

Pneuma einen gasförmigen Bestandteil der atmosphärischen Luft erblickte, die physiologische Rolle voraussah, die tatsächlich der Sauerstoff im Organismus spielt.

Das System Galens, das im übrigen eine Fülle von einzelnen physiologischen Beobachtungen und Experimenten enthielt, wurde durch die Araber in die mittelalterliche Kultur hinein übermittelt, ohne daß diese etwas wesentlich Neues hinzugefügt hätten. Erst mit dem 16. Jahrhundert beginnt eine neue Entwickelung, wie in allen Naturwissenschaften, so auch in der Physiologie, und man fängt an, sich von den alten Lehren des Galen zu emanzipieren.

Besonders waren es die großen anatomischen Entdeckungen am menschlichen Körper, die einen mächtigen Impuls für die Entwickelung der Physiologie gaben. So entstand um jene Zeit durch die Untersuchungen von Serveto (1511 bis 1553), Colombo (†1559), Cesalpino (1519 bis 1603), Argentieri (1513 bis 1572) und anderen die Grundlage für die moderne Lehre vom Blutkreislauf, wie sie Harvey (1578 bis 1657) begründete. Es war von Serveto bereits erkannt worden, daß die alte Galensche Lehre, nach welcher das Blut direkt von der rechten in die linke Herzkammer passieren kann, nicht haltbar ist, da beide Herzteile durch eine undurchgängige Scheidewand voneinander getrennt sind. Die wichtigste Entdeckung aber war die Erkenntnis vom Zusammenhang der Arterien und Venen durch das Kapillarsystem. Damit erst war es möglich, daß Harvey den genauen Weg des Blutes im gesamten Körper feststellen und als einen geschlossenen Kreislauf erkennen konnte. Eine zweite große Entdeckung, die sich an den Namen Harveys knüpft, war die entwickelungsgeschichtliche Erkenntnis, die er in dem Satze zusammenfaßte: „omne vivum ex ovo" und die zu einer Grundlage der heutigen Entwickelungslehre geworden ist.

Mit dem Aufblühen der Philosophie und besonders der Einführung der induktiven Forschungsmethode durch Bacon (1561 bis 1626) kam im 17. Jahrhundert wiederum neue Anregung in die Physiologie. Vor allem hat Descartes (1596 bis 1659) nicht bloß durch die Schärfe seines Denkens, sondern auch durch eigene physiologische Untersuchungen, namentlich auf dem Gebiete der Sinnesphysiologie und der Bewegungsphysiologie äußerst fruchtbar gewirkt. Seine Auffassung des tierischen und menschlichen Körpers als kunstvoll gebauter Maschinen, die nach den Gesetzen der Mechanik ihre Bewegungen ausführen, führte Borelli (1608 bis 1679) durch eine genaue Untersuchung der Skelettbewegungsmechanik zur Begründung einer besonderen Schule in der Physiologie, die als „iatrophysikalische" oder „iatromathematische" Schule die Lehre vertrat, daß alle Lebensäußerungen auf mechanischen oder physikalischen Gesetzen beruhen und physikalisch erklärt werden müßten. Die Einseitigkeit dieser Auffassung und die Erkenntnis, daß viele Lebensäußerungen, wie die Verdauung und Atmung, nicht physikalischer, sondern chemischer Natur sind, rief daneben sehr bald unter der Führung des holländischen Arztes Delboë Sylvius (1614 bis 1672) eine Konkurrenzschule ins Leben, die „iathrochemische" Schule, die zwar die Bedeutung der physikalischen Erklärungsweise für gewisse Lebensäußerungen zugab, den Schwerpunkt aber auf die chemische Erforschung der Lebensvorgänge legte. Den Ausgangspunkt bildete die Lehre van Helmonts (1577 bis 1644) von der Verdauung, nach der nicht, wie man vorher glaubte, die Wärme die Verdauung im Magen bewirkte, sondern ein an die Magensäure gebundenes chemisches Agens, das „Fermentum". Hier liegt der Ursprung unserer modernen Lehre von den Verdauungsfermenten. Sehr wichtig wurde für die Zukunft ferner die Auffassung John Mayows (1645 bis 1679), daß die Atmung ein der Verbrennung analoger Prozeß sei. Eine dritte Richtung, die sich um jene Zeit entwickelte, war die mikroskopische Forschung, die nach der Erfindung zusammengesetzter Mikroskope im 17. Jahrhundert entstand und auch für physiologische Fragen Bedeutung gewann. Durch die mikroskopischen Untersuchungen von Leeuvenhoek (1632 bis 1723), Malpighi (1628 bis 1694), Swammerdam (1637 bis 1685) und zahlreichen anderen Forschern wurde besonders die Lehre von der Zeugung und Entwickelung vertieft. Die Urzeugungslehre in der alten naiven Form des Aristoteles, nach der sogar höhere Tiere wie Amphibien und Fische aus leblosem Material sollten entstehen können, wurde verlassen und beschränkt auf die niedrigsten und kleinsten Organismen, die das Mikroskop jener Zeit erst enthüllte, auf die Welt der Infusionstierchen. Die Entdeckung der Spermatozoen führte zu neuer Erkenntnis über das Wesen der Befruchtung.

So häufte sich in der physiologischen Forschung eine Fülle von Beobachtungen und experimentellen Erfahrungen an, die im 18. Jahrhundert zum ersten Male von Haller (1708 bis 1777) in seinen „Elementa physiologiae corporis humani" zu einem großen, 8 Bände umfassenden Werk übersichtlich zusammengestellt wurde. Damit war ein Ueberblick über die bisherigen Lei-

Digitized by Google

stungen der Physiologie gegeben, der viele Zusammenhänge erkennen ließ und dadurch zu neuen Fragestellungen Anlaß gab. Es wurde die Aufmerksamkeit besonders auf die Probleme der Entwickelung und der Irritabilität gelenkt, allerdings mehr durch den Widerspruch, den Hallers Anschauungen erfuhren, als durch die Erkenntnis neuer Tatsachen seinerseits. In der Entwickelungslehre vertrat Haller den Standpunkt der aus ungenauen mikroskopischen Beobachtungen über die Eientwickelung hergeleiteten „Präformationslehre", nach der bereits im Ei der neue Organismus in kleinsten Dimensionen fertig vorgebildet sein sollte. Gegen diese Lehre wandte sich die „Theoria generationis" Caspar Friedrich Wolffs (1733 bis 1794), welche eine „Epigenesis", d. h. eine Aufeinanderfolge verschiedener Formenstadien bei der Entwickelung behauptete, aber erst lange, nachdem die Autorität Hallers überwunden war, zu allgemeinerer Geltung kam. Die Irritabilitätslehre, die von Glisson (1597 bis 1677) bereits im 17. Jahrhundert begründet war, gab durch die Schwierigkeit, den alten von Glisson eingeführten Begriff der „Irritabilität" genauer zu formulieren und von den Begriffen der „Sensibilität" und „Kontraktilität" abzugrenzen, zu fortwährenden Begriffsstreitigkeiten und schließlich zu einer grenzenlosen Konfusion Anlaß, an der auch Haller nicht unbeteiligt blieb, bis John Brown (1735 bis 1788) in seiner radikalen Weise den Begriff der Irritabilität klärte und eine einheitliche Irritabilität, d. h. Reizbarkeit für alle lebendigen Wesen annahm. Aber gerade die Tatsachen der Entwickelung und die Tatsachen der Irritabilität, die in jener Zeit so viel und lebhaft diskutiert wurden, wiesen zahlreiche Forscher darauf hin, daß die mechanischen Erklärungsweisen der iatrophysikalischen und iatrochemischen Schule bei diesen Problemen versagten. Anstatt aber den Grund dafür in der unzureichenden Erkenntnis der physikalischen und chemischen Gesetze zu suchen, ließen sich manche Physiologen verleiten, die Physik und Chemie als Erklärungsmittel für die eigentlichen spezifischen Lebensvorgänge überhaupt zu verwerfen und ein mystisches Prinzip als causa movens für das Leben anzunehmen. So entstand im 18. Jahrhundert nach mancherlei Annahmen ähnlicher Art die Lehre von der „Lebenskraft". Der „Vitalismus" nahm seinen Ausgangspunkt von Frankreich, verbreitete sich aber bald über alle Länder und beherrschte in mannigfaltigen Modifikationen, teils in strengerer, teils in abgeschwächter Formulierung bis über die Mitte des 19. Jahrhunderts die gesamte Lehre vom Leben. In seiner strengen Fassung lehrte der Vitalismus, daß eine besondere Kraft nicht physikalischer oder chemischer Natur, eine „force hypermécanique" die Triebfeder für alle Lebensäußerungen sei. In seiner abgeschwächten Form erkannte der Vitalismus an, daß auch das Geschehen im Organismus im letzten Grunde physikalischer und chemischer Natur sei, nahm aber an, daß hier besondere Gesetze walten, die durch die spezifische Anordnung und Mischung der Kräfte und Stoffe im lebendigen Organismus gegeben seien. In dieser letzteren Form schloß der Vitalismus eine physikalische und chemische Analyse der Vorgänge im Organismus nicht aus. Es wurden daher auch in jener Zeit eine ganze Anzahl wichtiger physiologischer Entdeckungen gemacht. Galvani (1737 bis 1798) entdeckte die Elektrizitätsproduktion der tierischen Gewebe. Ingenhouss (1730 bis 1799) fand den Kohlensäureverbrauch der grünen Pflanzen im Lichte. Girtanner (1760 bis 1800) wies die Aufnahme von Sauerstoff durch das venöse Blut in den Lungen nach. Spallanzani (1729 bis 1799) widerlegte die Lehre von der Urzeugung für die Infusorien. Zahlreiche andere spezielle Entdeckungen stammen ebenfalls aus jener Zeit.

Einen gewaltigen Einfluß auf die weitere Entwickelung der Physiologie übte im 19. Jahrhundert die starke Persönlichkeit Johannes Müllers (1801 bis 1858) aus, teils durch seine speziellen Untersuchungen, teils durch die allgemeine philosophische Methode seiner Forschung, teils durch die gewaltige Anregung, die von ihm auf seine zahlreichen Schüler ausging, unter denen sich ein Helmholtz, Virchow, Du Bois-Reymond, Brücke, Schwann, Henle, Remak, Traube, Max Schultze, Lieberkühn, Miescher, Pflüger, Haeckel, Hermann Munk und viele andere bekannte Biologen befanden. Unter den speziellen Untersuchungen haben besondere Bedeutung erlangt die experimentelle Begründung des Bellschen Lehrsatzes von der physiologischen Leitungsrichtung der Rückenmarkswurzeln, die Formulierung des bis dahin nur unklar erkannten Gesetzes von der spezifischen Energie der lebendigen Substanzen und zahlreiche Arbeiten aus dem Gebiete der Sinnesphysiologie. Sein methodischer Einfluß lag namentlich in der philosophischen Art, wie er die allgemeinen Probleme der Physiologie anfaßte. Diese kam besonders in seinem klassischen „Handbuch der Physiologie" zum Audruck, das in ganz anderer Weise als die zusammenhangslose Sammlung, die Haller in seinen „Elementa physiologiae" geboten hatte, zum ersten Male die Erkenntnisse, Probleme, Theorien seiner Zeit in innerlichen Zusammenhang

Digitized by Google

brachte und zu einem Gesamtbilde von dem Geschehen im Organismus vereinigte, eine Eigenschaft, die es zu dem allgemeinen physiologischen Nährboden aller Biologen und selbst aller praktischen Mediziner jener Zeit machte. Eine spezifische Seite der Forschung Johannes Müllers lag in seiner allgemeinen Verwendung der vergleichenden Methode für alle Probleme der Physiologie und man kann sagen, daß Johannes Müller, obwohl von vergleichender Physiologie bereits vor ihm die Rede war, doch der eigentliche Vater der vergleichenden Physiologie geworden ist.

Johannes Müller war wie alle Physiologen seiner Zeit noch Vitalist, wenn auch sein Vitalismus eine sehr gemäßigte Form hatte. Bald nach seinem Tode begann aber diese Lehre dem Ansturm neuer großer naturwissenschaftlicher Entdeckungen zu erliegen. Auf chemischem Gebiet war der Ausgangspunkt für den Sturz des Vitalismus die Entdeckung Wöhlers (1800 bis 1882), dem es 1828 gelang, ein spezifisches Produkt des tierischen Körpers, den Harnstoff synthetisch im Laboratorium herzustellen. Bis dahin galt es als selbstverständlich, daß die organischen Produkte des Tier- und Pflanzenkörpers nur unter dem Einfluß der Lebenskraft entstehen könnten. Aber so fest war die Lehre von der Lebenskraft eingewurzelt, daß die Wöhlersche Entdeckung zunächst in keiner Weise den Vitalismus erschütterte. Erst als man nach und nach immer mehr organische Stoffe künstlich herzustellen lernte, erkannte man allmählich, daß damit dem Vitalismus eine seiner fundamentalen Stützen entzogen war. Den Hauptschlag aber erlitt die Lehre von der Lebenskraft durch die Entdeckung des „Gesetzes von der Erhaltung der Kraft" durch Robert Mayer (1814 bis 1878) und Helmholtz (1821 bis 1894). Nachdem die kalorimetrischen Versuche den Beweis geführt hatten, daß dieses Gesetz auch für den Organismenkörper Gültigkeit hat, d. h. daß im Organismus dynamisches Gleichgewicht besteht, indem die Energieproduktion der Energiezufuhr entspricht, war der Annahme einer besonderen Lebenskraft im Organismus der Boden entzogen, denn die spezifischen Leistungen des Organismus werden vollständig bestritten durch die mit der Nahrung usw. von außen in den Körper eingeführten Energiemengen. Schließlich wurden auch die merkwürdigen Tatsachen der Entwickelung der Organismen dem mechanischen Verständnis etwas näher gebracht durch die große Entdeckung Darwins. Es zeigte sich bei einer Vergleichung der ontogenetischen mit der phylogenetischen Entwickelung der Organismen, daß ein konditionaler Zusammenhang besteht zwischen beiden Reihen, den Haeckel in seinem „biogenetischen Grundgesetz" zum Ausdruck brachte. So wurde in den mittleren Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts die Lehre von der Lebenskraft vollständig aus dem gesamten biologischen Denken eliminiert und die Physiologie damit von einem hinderlichen Drucke befreit. Die Physiologie sah von jetzt an ihre Aufgabe klar und deutlich allein in der physikalischen und chemischen Analyse der Lebensäußerungen. Diese Auffassung ist in der Physiologie seither unerschüttert geblieben und auch in anderen biologischen Wissenschaften wie in der Zoologie haben einige vereinzelte Versuche, die alte Lehre von der Lebenskraft wieder zu beleben, wie z. B. die Bemühungen von Driesch keinen Anklang gefunden.

Die bewußte Anwendung der physikalischen und chemischen Methoden auf die Erforschung des Lebens hat unter der Führung von Männern wie Helmholtz, Ludwig, Du Bois-Reymond, Magendie, Claude Bernard, Marey, Pflüger, Wundt, Hering, Munk, Kühne, Fick, Liebig, Voit, Hoppe-Seyler und in der Pflanzenphysiologie von Hofmeister, Nägeli, Sachs, Pfeffer, Strasburger, Stahl, Berthold, Wiesner, Haberlandt, Molisch und anderen die reichsten Früchte getragen und die Physiologie zu der Höhe erhoben, auf der sie augenblicklich steht.

Schließlich hat sich auf dem Boden dieser Auffassung der Physiologie als einer Physik und Chemie der Organismen in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts der letzte große Zweig der Physiologie entwickelt, die allgemeine Physiologie. Nachdem sich im Laufe der früheren Zeit bereits eine gewisse Summe von Erfahrungen über die allgemeine Natur des Lebensvorgangs aus den speziellen physiologischen Untersuchungen besonders der Muskel- und Nervenphysiologie sowie der Pflanzenphysiologie gewissermaßen als Nebenprodukt niedergeschlagen hatte, begann man gegen das Ende des 19. Jahrhunderts mit vollem Bewußtsein die allgemeinen Probleme des Lebens in systematischer Weise zu bearbeiten. Das konnte nur unter umfassender Benutzung der vergleichenden Methode geschehen. Die Erkenntnis, daß alle Organismen aus Zellen aufgebaut sind und daß die Zelle der einzige Sitz der Lebensvorgänge ist, gab der allgemeinen Physiologie eine natürliche Basis, denn wenn die allgemeine Physiologie das Ziel verfolgt, die allen Organismen gemeinschaftlichen Lebensäußerungen zu analysieren und so zu einem allgemeinen Bilde vom Vorgang des Lebens zu gelangen, so muß sie sich an das all-

Digitized by Google

gemeine Substrat alles Lebens wenden und in vergleichender Weise die Lebensäußerungen der Zelle untersuchen. Die Vertiefung der Physik und Chemie durch die Entwickelung des Gebietes, das man heute als „physikalische Chemie“ zu bezeichnen pflegt, hat der allgemeinen Physiologie zahlreiche neue methodisch wichtige Mittel an die Hand gegeben, und so ist die allgemein physiologische Forschung zu einer immer tieferen Erkenntnis des Stoffwechsels und Energieumsatzes in der lebendigen Substanz gelangt und vor allem der Veränderungen, die er unter dem Einfluß der Reize erfährt, d. h. zu einer Erkenntnis, die allen einzelnen Gebieten der Biologie in gleichem Maße zugute kommt.

4. Methoden der Physiologie. Wenn die Aufgabe der Physiologie in der mechanischen Analyse der Lebensäußerungen besteht, so ist es klar, daß diese Analyse nur mit den Mitteln der exakten Naturforschung, wie sie besonders von der Physik und Chemie entwickelt sind, erfolgen kann. In der Tat zeigt die ganze Geschichte der Physiologie, daß alle physiologischen Erkenntnisse lediglich mit den einfachen und komplizierten Methoden dieser beiden Wissenschaften gewonnen worden sind. Die Lehre von der Lebenskraft, welche die Lebensäußerungen als den Ausdruck einer hypermechanischen Kraftwirkung auffaßte, hat keine einzige Methode geschaffen, mit der sie in das Geschehen im Organismus hätte eindringen können. Auch in den dunkelsten Zeiten des Vitalismus hat man sich wohl oder übel immer der physikalischen und chemischen Methoden bedienen müssen, um dieses Geschehen weiter zu erforschen und niemals ist eine physiologische Entdeckung auf einem anderen Wege gewonnen worden. In diesem Bewußtsein liegt gerade für die physiologische Forschung das psychologische Moment, das sie am besten vor einem Rückfall in den alten Vitalismus geschützt hat, als man in anderen biologischen Wissenschaften hier und dort eine Zeitlang vom „Neovitalismus“ sprach und mit der alten Mystik liebäugelte.

Der einfachste Weg zur Erforschung der Lebensäußerungen im Sinne mechanischer Analyse besteht in der genauen Beobachtung der Vorgänge im Organismus. Allein die einfache Beobachtung, so unentbehrlich sie ist, bleibt doch immer an der Oberfläche des unmittelbar Wahrnehmbaren und dringt nicht tief genug ein. Tiefer dringt die operative Methode am lebendigen Organismus. Diese ist rein chirurgisch und erfordert vielfach das ganze Rüstzeug chirurgischer Operationen: Narkose, Asepsis, Operationstechnik usw. Ohne solche „Vivisektionen“ ist eine Erforschung der Lebensvorgänge im Tierkörper nicht möglich. Eine genaue Kenntnis dieser Vorgänge ist aber nicht bloß notwendig für unsere theoretische Vorstellung vom Leben, sondern sie ist auch die unerläßliche Voraussetzung für eine praktische Therapie beim kranken Menschen. Daraus leitet sich die Berechtigung wissenschaftlicher Vivisektionen her, die im übrigen von einem humanen Forscher auch stets in humaner Weise und unter Vermeidung unnützer Grausamkeit ausgeführt werden dürften. Die rein operative Methode am höheren Tier führt indessen die Untersuchung ebenfalls nur bis zu einem bestimmten Punkt, d. h. bis dahin, wo der Lebensvorgang sich dem unbewaffneten Auge entzieht. Zu seiner weiteren Verfolgung auf dem Wege der Beobachtung ist es nötig, das Auge durch das Mikroskop zu unterstützen. Die mikroskopische Untersuchung der Lebensvorgänge an der einzelnen Zelle, besonders an einzelligen Organismen, hat eine Fülle von Tatsachen enthüllt, die der makroskopischen Untersuchung immer verborgen geblieben waren.

Allein diese gesamten Methoden der einfachen Beobachtung gewinnen erst ihre volle Bedeutung in Verbindung mit derjenigen Methode, welche die Physiologie ganz besonders der hohen Entwickelung der Physik und Chemie verdankt, d. i. mit der experimentellen Methode. Der enorme Wert der experimentellen Methode liegt hier wie in der Physik und Chemie darin, daß man durch planmäßige Abänderung der einzelnen Bedingungen des Vorgangs den Mechanismus seines Zustandekommens immer tiefer erforschen kann. In der Physiologie hat die experimentelle Forschung die glänzendsten Erfolge erzielt durch ihre Kombination mit der operativen Methode. Zwei große Wege sind es, die hier zur Erkenntnis der physiologischen Bedeutung eines Organs führen, sei es, daß es sich um ein Organ des vielzelligen Tier- oder Pflanzenkörpers, sei es, daß es sich um einen Bestandteil der einzelnen Zelle handelt. Der eine Weg ist derjenige der Elimination, der andere derjenige der Reizung. Die Eliminationsmethode erkennt die physiologische Bedeutung des zu untersuchenden Teiles aus den Ausfallssymptomen, die nach Exstirpation oder anderweitiger Ausschaltung desselben im Gesamtbetriebe des Organismus auftreten. Die Reizmethode bringt die physiologische Funktion des betreffenden Teils deutlicher zum Ausdruck, indem sie dieselbe künstlich steigert. Dabei ist derjenige Reiz, der in der physiologischen Technik zum Reiz par excellence geworden ist, der elektrische Reiz, weil dieser sich wie kein anderer an Intensität aufs feinste abstufen und an Dauer begrenzen läßt bei allgemeiner Verwendbarkeit für alle Formen der le-

Digitized by Google

bendigen Substanz. Die elektrische Reizmethodik ist daher im Laufe der Zeit in der allerfeinsten Weise von der Physiologie ausgebildet worden. Besonders hat sich Du Bois-Reymond in dieser Hinsicht große Verdienste erworben. Der konstante Strom, der einzelne Induktionsschlag, der faradische Strom, die Kondensatorentladung usw. werden auf Schritt und Tritt von der Physiologie verwendet und die verschiedenen Formen der galvanischen Elemente, die Akkumulatoren, das Du Bois-Reymondsche Schlitteninduktorium, die Widerstandsapparate, die unpolarisierbaren Elektroden, der Stromschlüssel, der Stromwender und zahlreiche andere Apparate für die elektrische Reizung bilden das tägliche Handwerkszeug des Physiologen. Zu einem ebenso wichtigen Mittel physiologischer Forschung ist eine Darstellungsweise geworden, die von Ludwig in die Physiologie eingeführt worden ist, d. i. die graphische Methode. Ludwigs „Kymographion" diente ursprünglich zur graphischen Verzeichnung der Schwankungen des Blutdrucks beim Säugetier. Es bestand aus einer mit einer Schreibfläche überzogenen Trommel, die durch ein Uhrwerk mit konstanter Geschwindigkeit gedreht wurde, und einem Quecksilbermanometer, dessen einer Schenkel mit dem Blutgefäß des Tieres verbunden war, während im anderen Schenkel auf der Quecksilberoberfläche sich ein Schwimmer mit einem Schreibhebel befand, der alle Schwankungen des Drucks auf der Schreibfläche der Trommel verzeichnete. Das Kymographionmodell Ludwigs ist später in der allermannigfaltigsten Weise modifiziert worden. Die graphischen Apparate haben ferner für die Darstellung der verschiedenartigsten Bewegungsvorgänge im Organismus Verwendung gefunden. Man hat die Schreibfläche eben gestaltet, man hat sie berußt, man hat sie aus photographischen Platten oder Films hergestellt, um in der gleichen Weise photographische Aufnahmen von Bewegungsvorgängen machen zu können, kurz die graphische Methode ist heute in der allerverschiedensten Weise modifiziert zum unentbehrlichen Forschungsmittel des Physiologen geworden, weil sie es gestattet, vorübergehende Vorgänge dauernd in Form einer Kurve festzulegen und zu jeder beliebigen Zeit weiter zu studieren.

Neben diesen großen und allgemeinen physikalischen Methoden hat die Physiologie eine unübersehbare Zahl einzelner physikalischer Methoden für spezielle Zwecke entwickelt, die zur Darstellung und Analyse der physikalischen Leistungen des Organismus dienen. So ist besonders die Methodik für den Nachweis der Elektrizitätsproduktion der Organe und Gewebe außerordentlich fein ausgebildet worden durch die Konstruktion von Multiplikatoren, Kapillarelektrometern, Spiegelgalvanometern und Saitengalvanometern von äußerster Empfindlichkeit, so daß man heute die Elektrizitätsproduktion der lebendigen Substanz vielfach als besten äußerlichen Indikator für das Geschehen in ihr benutzen kann. Ungeheuer ist die Zahl der speziellen Apparate zum Studium der Hämodynamik, der Atembewegungen, der Wärmeproduktion, der Muskelarbeit, der Sinnestätigkeit usf. In der glänzenden Entwickelung der Methodik hat die Tierphysiologie die Pflanzenphysiologie weit überholt und die Ausbildung der Methoden ist zeitweilig für die Tierphysiologie geradezu eine Gefahr geworden, indem das Interesse für die Probleme vor demjenigen für die Methoden stark in den Hintergrund trat.

Weit weniger mannigfaltig und kompliziert als die physikalische ist die chemische Methodik der experimentellen Physiologie. Sie umfaßt im wesentlichen die gleichen Arbeitsmethoden, die überhaupt in der Chemie allgemein benutzt werden. Daneben sind einzelne chemische Methoden für spezielle physiologische Bedürfnisse modifiziert oder erfunden worden, wie z. B. die Methode zur Bestimmung des Gesamtstickstoffs organischer Körper von Kjeldahl oder die Methoden der Gasanalyse für Stoffwechseluntersuchungen usw.

Den allgemeinen Methoden der einfachen Beobachtung und des Experiments tritt an die Seite die Methode der Vergleichung. Mit dem Ausdruck „vergleichende Physiologie" ist leider vielfach ein durchaus unzutreffender Begriff verbunden worden. Man hat nicht selten die vergleichende Physiologie als eine selbständige Wissenschaft betrachtet und hat es schon für vergleichende Physiologie gehalten, wenn man als Versuchsobjekt gelegentlich ein Tier benutzte, das nicht wie der Hund, das Kaninchen und der Frosch zu den alltäglichen Versuchstieren der Physiologen gehört. Es ist aber noch keine vergleichende Physiologie, die man treibt, wenn man ans Meer geht und irgendein wirbelloses Tier nimmt, das einem die Jahreszeit gerade liefert, um sich zu fragen, ob man nicht irgendwelche physiologischen Experimente an ihm ausführen könnte. Das wäre höchstens ein Beitrag zur speziellen Physiologie dieses betreffenden Seetieres. Die vergleichende physiologische Forschung aber besteht darin, daß sie ein physiologisches Problem durch Vergleich der Verhältnisse bei verschiedenen Formen der lebendigen Substanz zu lösen versucht, indem sie den ihm zugrunde

Digitized by Google

liegenden Vorgang an verschiedenen Objekten, d. h. unter verschiedenen Bedingungen untersucht, um so das Prinzip desselben aus seinen speziellen Gewändern herauszufinden. Die vergleichende Physiologie ist gar keine besondere Wissenschaft oder gar kein spezielles Gebiet der Physiologie, sondern sie ist eine Methode, die auf alle möglichen Probleme der Physiologie Anwendung finden kann. Sie hat also kein eigenes spezifisches Problem. Eine eigene Wissenschaft aber gründet sich stets auf ein eigenes Problem, niemals auf eine spezielle Methode. Als physiologische Forschungsmethode dagegen ist die vergleichende Physiologie von größtem Wert. Wenn auch dieser Wert aus Mangel an Kenntnis der zahllosen Organismenformen von den Physiologen lange Zeit übersehen wurde, so haben doch die letzten Jahrzehnte wieder mehr zur Erkenntnis desselben geführt und eine immer weitergehende Benutzung der vergleichenden Methode in der Physiologie mit sich gebracht.

Außer den objektiven Lebensäußerungen berücksichtigt aber die Physiologie auch die subjektiven und bezieht damit die Psychologie in die Grenzen ihres Reiches mit ein. Es geschieht das in der Physiologie der Sinnesorgane und des Nervensystems. Wenn der Physiologe seine Aufgabe allein darin sähe, die Lebensäußerungen an anderen Organismen zu analysieren, dann könnte die Physiologie des Nervensystems und der Sinnesorgane lediglich darin bestehen, die objektiv wahrnehmbaren Vorgänge in diesen Systemen mit den oben genannten Untersuchungsmethoden der Physiologie zu analysieren. Soweit allein würde die Sinnesphysiologie und die Physiologie des Nervensystems wirkliche Physiologie sein. Indessen seit alter Zeit hat der Physiologe auch die eigenen subjektiven Empfindungen mit in den Kreis seiner Untersuchungen hineingezogen und dieses Verhältnis hat sich bis in unsere Zeit hinein erhalten. Infolgedessen ist eine Abtrennung der Psychologie von der Physiologie hier nicht durchgeführt worden. Eine theoretische Berechtigung für dieses Verhältnis kann in erkenntnistheoretischen Erwägungen erblickt werden. Eine praktische Berechtigung dafür liegt darin, daß wir einerseits bis zu einem gewissen Grad in der Lage sind, von unseren eigenen subjektiven Bewußtseinsvorgängen Analogieschlüsse zu ziehen auf diejenigen anderer Menschen, bei denen wir diese Vorgänge gleichzeitig objektiv als Vorgänge in den Sinnesorganen und dem Nervensystem analysieren können, und daß wir andererseits in dem Spiel der eigenen subjektiven Bewußtseinsvorgänge vielfach einen viel feiner differenzierenden Indikator für das Geschehen haben, als ihn uns bisher die objektive Analyse der Vorgänge im Nervensystem und den Sinnesorganen zu liefern vermag. So wird noch immer die subjektive Selbstbeobachtung in der Sinnes- und Nervenphysiologie eine unentbehrliche Ergänzung der objektiven Untersuchungsmethoden bilden müssen, bis auch die letzteren einst so hoch entwickelt sein werden, daß sie ebenso fein zu differenzieren vermögen, wie die subjektive Beobachtung.

Schließlich aber muß sich die Physiologie stets bewußt bleiben, daß sie nicht auf bestimmte Methoden beschränkt ist, sondern daß ihrer Forschung jede wissenschaftliche Methode zur Verfügung steht, die gerade brauchbar ist und beiträgt zur Erreichung ihres großen Zieles, zur Erkenntnis des Lebens.

Literatur. **Sprengel**, *Versuch einer pragmatischen Geschichte der Arzneikunde.* — **Haeser**, *Lehrbuch der Geschichte der Medizin.* — **Claude Bernard**, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux. Paris 1878.* — **M. Verworn**, *Allgemeine Physiologie. 5. Aufl. Jena 1909.* — **Derselbe**, *Die Erforschung des Lebens. 2. Aufl. Jena 1911.* — **Pütter**, *Vergleichende Physiologie. Jena 1911.* — **Winterstein**, *Handbuch der vergleichenden Physiologie.* — **Tigerstedt**, *Handbuch der physiologischen Methodik. Leipzig 1909 bis 1912.* — **Abderhalden**, *Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden. Berlin 1910.*

M. Verworn.

Piëzokristallisation

oder Druckkristallisation (vgl. den Artikel „Mineral- und Gesteinsbildung durch Metamorphose").

Pilze.

Unter dem Namen Pilze (Fungi, Mycetes) faßt man gewöhnlich alle chlorophyllfreien Thallophyten mit Ausschluß der Bakterien und Schleimpilze zusammen. Außer dem Mangel an Chlorophyll weisen die Pilze aber auch in ihrem Aufbaue gewisse gemeinsame Züge auf: Ihr Körper ist (außer bei den einfachsten Formen) aus querwandlosen Schläuchen oder aus Zellreihen gebildet, welche man Hyphen nennt. Diese sind meist reichlich verzweigt und können sich, namentlich bei den höheren Pilzen, oft in komplizierter Weise untereinander verflechten; dadurch entstehen

Digitized by Google

Gewebekörper, welche als Hyphengeflecht, Filzgewebe, Plektenchym bezeichnet werden. Sind in einem solchen Geflecht die einzelnen Hyphen kurzzellig und sehr dicht verflochten, so erkennt man ihren Verlauf nicht mehr und das Ganze erinnert an die parenchymatischen Gewebe höherer Pflanzen; man spricht alsdann von einem Pseudoparenchym. Echte, durch Teilung von Zellen nach mehreren Richtungen entstandene Parenchyme gehören dagegen bei den Pilzen zu den Seltenheiten. — Der Vegetationskörper oder Thallus der Pilze ist bei den einfachsten Formen ein nackter Protoplasmakörper; sonst besteht er überall aus Hyphen und wird alsdann Mycelium genannt. Dieses verbreitet sich meist als lockerfädiges Gebilde im Innern oder an der Oberfläche des Substrates. Bei parasitischen Pilzen (s. die Artikel „Parasiten und Pflanzenkrankheiten") entsenden seine Hyphen zur Aufnahme der Nahrung oft in die Zellen ihres Wirtes besondere kleine Fortsätze, sogenannte Haustorien. Oft vereinigen sich die Hyphen des Mycels auch zu Strängen; an diesen kann man zuweilen eine dunkle Rindenschicht und ein helles zentrales Mark unterscheiden, sie heißen alsdann Rhizomorphen. Wieder in anderen Fällen verflechten sie sich zu knollenförmigen Gebilden, den sogenannten Sklerotien, welche Dauerzustände darstellen. Endlich zeigen Pilze aus den verschiedensten Gruppen die Eigentümlichkeit, daß ihr Mycel unter gewissen Kulturbedingungen in einzelne rundliche oder längliche Zellen zerfällt, die sich dann durch Sprossung weitervermehren (Sproßmycel).

Aeußerst mannigfaltig sind bei den Pilzen die Fortpflanzungsverhältnisse. Für diese verweisen wir auf den Artikel „Fortpflanzung der Pflanzen" und die unten folgende Darstellung der einzelnen Pilzgruppen. Ebenso wollen wir auch die Verwandtschaftsverhältnisse für die einzelnen Hauptgruppen gesondert erörtern.

System. Den heutigen Kenntnissen und theoretischen Vorstellungen dürfte unseres Erachtens die folgende Klassifikation wohl am besten entsprechen:

I. Phykomyceten.

A. Chytridineen.

1. Myxochytridineen.
   a) Woroninaceen.
   b) Olpidiaceen.
   c) Synchytriaceen
2. Mycochytridineen.
   a) Ancylisteen.
   b) Rhizidiaceen.
   c) Hyphochytriaceen.
   d) Cladochytriaceen.

B. Oomyceten.

1. Monoblepharideen.
2. Saprolegnieen.
3. Peronosporeen.

C. Zygomyceten.

1. Mucorineen.
2. Entomophthoreen.
3. Endogoneen.
4. Basidioboleen.

II. Ascomyceten.

A. Protascineen.

1. Endomyceten.
2. Saccharomyceten.

B. Typische Ascomyceten.

1. Plectascineen.
   a) Gymnoascaceen.
   b) Aspergillaceen.
   c) Onygenaceen.
   d) Trichocomataceen.
   e) Elaphomycetaceen.
   f) Terfeziaceen.
2. Perisporineen.
   a) Erysiphaceen.
   b) Perisporiaceen.
   c) Microthyriaceen.
3. Pyrenomyceten.
   a) Hypocreaceen.
   b) Sphaeriaceen.
   c) Dothideaceen.
4. Hysterineen.
5. Discomyceten.
   a) Phacidiaceen.
   b) Pezizaceen.
   c) Helvellaceen.
6. Tuberineen.
7. Exoasceen.
8. Laboulbeniaceen.

III. Basidiomyceten.

A. Hypodermei.

1. Ustilagineen.
2. Uredineen.

B. Protobasidiomyceten

1. Auricularineen.
2. Tremellineen.

C. Autobasidiomyceten.

1. Hymenomyceten.
   a) Dacryomyceten.
   b) Tulasnellaceen.
   c) Corticiaceen.
   d) Thelephoraceen.
   e) Clavariaceen.
   f) Hydnaceen.
   g) Polyporaceen.
   h) Agaricaceen.
2. Exobasidieen.
3. Plectobasidii.
   a) Sclerodermataceen.
   b) Calostomataceen.
   c) Sphaerobolaceen.
   d) Tulostomataceen.
4. Gastromyceten.
   a) Secotiaceen.
   b) Podaxaceen.
   c) Hymenogastraceen.
   d) Lycoperdaceen.
   e) Nidulariaceen.
   f) Clathraceen.
   g) Phallaceen.

Anhang: **Fungi imperfecti.**

Die Ascomyceten und die Basidiomyceten werden gewöhnlich zusammengefaßt als Eumyceten oder höhere Pilze.

I. Phykomyceten (Algenpilze).

Wie schon ihr Name sagt, zeigen diese Pilze weitgehende Uebereinstimmung mit Algen und zwar namentlich aus der Gruppe der Chlorophyceen. Ihre einfachsten Formen besitzen einen wenigstens zeitweilig membranlosen Vegetationskörper, die höheren dagegen haben ein Mycelium, das aus langen, meist scheidewandlosen und reichverzweigten Hyphen mit zahlreichen Zellkernen besteht und daher mit dem Thallus der Siphonales verglichen werden kann. Selten sind Hyphen mit Scheidewänden und einkernigen Zellen.

Die ungeschlechtliche Fortpflanzung erfolgt in vielen Fällen, besonders bei den wasserbewohnenden Formen, ganz wie bei den Chlorophyceen, durch Bildung von Zoosporen in Zoosporangien. In anderen Fällen entstehen in den Sporangien membranumgebene Sporen. Endlich kommt es häufig vor, daß statt der Sporangien auf besonderen Hyphenzweigen Sporen durch Abschnürung entstehen; derartige Sporen nennt man Conidien und die gewöhnlich charakteristisch gestalteten Zweige, auf denen sie entstehen, Conidienträger.

Die sexuellen Vorgänge zeigen in den wesentlichen Punkten ganz analoge Verhältnisse wie bei den Chlorophyceen (und Conjugaten). Sie führen zur Bildung von Dauersporen (Oosporen, Zygosporen;

Digitized by Google

für beide benutzt man auch die Bezeichnung Zygote), in welchen früher oder später die beiden Geschlechtskerne verschmelzen. Durch diese Verschmelzung entsteht ein Kern mit doppelter Chromosomenzahl, ein diploider Kern. Die Keimung der Zygoten führt direkt oder unter Einschaltung von Sporangien oder Conidienträgern wieder zur Bildung eines Vegetationskörpers. Einzelne Beobachtungen und vor allem die Analogie mit näher untersuchten Chlorophyceen und Conjugaten führen zur Annahme, daß bei Beginn dieser Keimungsvorgänge der diploide Kern der Zygote eine Reduktionsteilung erfährt: der Vegetationskörper mitsamt den asexuellen Sporenbildungen (Sporangien, Conidien) hat daher wieder Kerne von einfacher Chromosomenzahl, ist also haploid. Wenn man diesen Kernverhältnissen eine entscheidende Bedeutung für den Generationswechsel beimißt, so entspricht das Mycel der Phykomyceten dem Gametophyten der höheren Pflanzen, während sich der Sporophyt der letzteren bei den Phykomyceten auf einen Sporenzustand, die Zygote, beschränkt. Schematisch läßt sich der Entwicklungsgang der Phykomyceten, soweit sie sexuelle Reproduktion besitzen, folgendermaßen darstellen:

Mycel mit Sporangien oder Conidien. →	Sexualzellen →	Zygote.
Gametophyt		Sporophyt.

Es ist das ein Entwickelungsgang, welcher dem der Chlorophyceen und Conjugaten durchaus entspricht.

A. Chytridineen (Archimycetes).

In dieser Gruppe vereinigt man die einfachsten Pilzformen. Ihr Vegetationskörper ist im einen Extrem ein membranloses protoplasmatisches Gebilde, im anderen ein kleines, meist sehr zartes Mycel. — Die ungeschlechtliche Fortpflanzung erfolgt durch Zoosporen in dünnwandigen Zoosporangien. Außer letzteren oder an ihrer Stelle werden auch Dauersporen gebildet, die eine derbe Wand besitzen und imstande sind ungünstige Außenbedingungen zu überdauern; nach abgelaufener Ruhezeit erfolgt dann ihre Weiterentwickelung, soweit bekannt, durch Zerfall ihres Inhaltes in Zoosporen. In einer Reihe von Fällen ist nachgewiesen, daß der Entstehung der Dauersporen sexuelle Vorgänge vorangehen.

Die einfachsten Chytridineen zeigen durch ihren membranlosen Vegetationskörper und andere Eigentümlichkeiten nahe Beziehungen zu niederen Protozoen, andere erinnern an einfache Algen aus der Reihe der Protococcales, während die höheren Formen zu den übrigen Phykomyceten, namentlich den Oomyceten, überleiten. Letzteres gilt besonders von den Ancylisteen, die von manchen aus den Chytridineen ausgeschieden werden. Unter diesen Umständen kann man sich nicht darüber wundern, daß auch über die Phylogenie der Chytridineen die Meinungen stark auseinandergehen: Alle denkbaren Kombinationen haben schon ihre Verfechter gefunden: die einen betrachten sie als reduzierte höhere Phykomyceten, während man in neuerer Zeit mehr dazu neigt, sie als eine von den Protozoen oder von einfachen Protococcales ausgehende, zu den höheren Phykomyceten aufsteigende Formenreihe anzusehen. Noch andere zerlegen sie in verschiedene Reihen von phylogenetisch verschiedenem Ursprung, oder trennen sie, wenigstens zum Teil, ganz von den Pilzen.

Die Chytridineen sind fast sämtlich Parasiten auf Algen, Wasserpilzen oder Wassertieren. Oft findet man sie auch auf Pollenkörnern, welche im Wasser liegen. Marine Formen sind nur wenige bekannt. Eine nicht unbeträchtliche Zahl von Arten bewohnt phanerogamische Landpflanzen.

1. **Myxochytridineen.** Der Vegetationskörper ist hier, wenigstens in den ersten Stadien, membranlos und geht bei der Bildung der Fortpflanzungsorgane ganz in diesen auf.

a) Woroninaceen. Als Beispiel sei Pseudolpidium Saprolegniae (Fig. 1) vorangestellt. Der Vegetationskörper dieses Pilzes lebt als nacktes, membranloses Gebilde in dem Protoplasma der Hyphen von Saprolegnieen (s. unten), die unter seinem Einfluß abnorm keulenförmig anschwellen. Er ernährt sich auf Kosten ihres Protoplasmas und zehrt es fast vollständig auf. Hat er dann eine gewisse Größe erreicht, so umgibt er sich mit einer Membran und stellt jetzt eine rundliche dünnwandige Blase dar, ein Zoosporangium (Fig. 1a), dessen Inhalt schließlich in zahlreiche Zoosporen zerfällt. Diese werden dann vermittels eines, selten mehrerer, schlauchförmiger Fortsätze, die durch die Wand der Wirtszelle nach außen ragen, in das Wasser entleert und schwärmen nun mit Hilfe von zwei Geißeln eine Zeitlang herum. Gelangen sie dann wieder auf eine Saprolegnia, so setzen sie sich auf ihr fest, umgeben sich mit einer dünnen Haut, treiben dann einen kurzen Fortsatz durch die Wand der Hyphe und entleeren in letztere ihr Protoplasma. Dieses stellt nun wieder den Vegetationskörper dar, von dem wir ausgegangen sind. In der kälteren Jahreszeit oder bei ungünstiger Ernährung geht aus diesem Vegetationskörper statt eines Zoosporangiums eine braun gefärbte, stachelige Dauerspore (Fig. 1b) hervor, deren Inhalt nach Ablauf einer Ruhezeit ebenfalls in Zoosporen zerfällt. — Es sind unter den Woroninaceen aber auch Fälle bekannt, in welchen sich bei der Bildung der Dauersporen geschlechtliche Vorgänge abspielen: Bei Olpidiopsis (Fig. 2) findet man nämlich an den jugendlichen Dauersporen Og eine oder mehrere kleinere (männliche) Zellen [An] anliegend, die ihren Inhalt in sie entleeren,

Digitized by Google

wobei sich die beiderseitigen zahlreichen Zellkerne paarweise zu verschmelzen scheinen. — Etwas komplizierter sind die Verhältnisse bei **Rozella** und **Woronina**, wo aus einer eingedrungenen Zoospore eine Mehrzahl von Zoosporangien oder Dauersporen hervorgehen können, die mitunter zu dichten kugeligen Anhäufungen verbunden sind. Eine solche aus einer Zoospore hervorgegangene Gruppe von Zoosporangien oder Dauersporen nennt man einen Sorus.

b) Olpidiaceen. Den Woroninaceen sehr ähnlich, aber die Zoosporen haben nur eine Geißel und der Vegetationskörper ist meistens schon sehr früh von einer Membran umgeben. Sori kommen hier nie vor. Bei der hierher gehörenden **Pseudolpidiopsis** findet man dieselben sexuellen Vorgänge wie bei Olpidiopsis. In anderen Fällen wird eine Kopulation von Schwärmzellen (Planogameten) angegeben, deren Verschmelzungsprodukt in die Wirtszelle eindringt und dort zu einer Dauerspore heranwächst.

c) Synchytriaceen. Die wichtigste Gattung ist hier Synchytrium, das in zahlreichen Arten auf verschiedenen phanerogamischen Pflanzen lebt. Die Zoosporen besitzen auch hier nur eine Geißel. Gelangen sie auf ein jugendliches Blatt einer ihnen zusagenden Pflanze, so dringen sie in eine Epidermiszelle (seltener durch die Spaltöffnungen in tiefer liegende Zellen) ein. Dieser Vorgang spielt sich in derselben Weise wie bei Pseudolpidium ab. In der Epidermiszelle findet man nun den Parasiten in Ein- oder Mehrzahl, in Form von anfänglich nackten, aber sehr bald von dünner Membran umgebenen, meist kugeligen Zellen. Diese wachsen allmählich heran; unter ihrem Einfluß vergrößert sich auch die von ihnen bewohnte Wirtszelle; die umgebenden Zellen können Teilungen erfahren, so daß oft kleine warzenförmig über die Blattfläche vortretende Gallen entstehen (Fig. 3). Das weitere Verhalten des Parasiten kann nun ein verschiedenes sein: bei denjenigen Arten, die man als sogenannte Pyknochytrien zusammenfaßt (z. B. S. aureum, Anemones u. a.) verdickt sich die Membran der Pilzzelle und letztere wird zu einer Dauerspore (Fig. 3), die zur Ueberwinterung bestimmt ist. Erst im folgenden Frühjahr tritt dann ihre Weiterentwickelung ein: die innere farblose Schicht der Sporenhaut tritt, vom protoplasmatischen Inhalt erfüllt, als kugeliges Gebilde aus der äußeren Sporenhaut aus; dann spaltet sich das Protoplasma in eine größere oder kleinere Zahl von polyedrischen Portionen, von denen jede ihre besondere Haut erhält (Fig. 4.) Die Gesamtheit dieser Portionen, welche anfänglich durch die umgebende Haut zusammen gehalten werden, sich aber dann voneinander trennen können, nennen wir einen Sorus, jede einzelne stellt ein Zoosporangium dar, aus welchem schließlich durch eine Membranöffnung zahlreiche Zoosporen austreten und neue Pflanzen infizieren. Anders als bei diesen Pyknochytrien gestaltet sich die Weiterentwickelung bei den sogenannten Eu-Synchytrien, deren bekanntestes Beispiel S. Taraxaci auf dem Löwenzahn darstellt. Hier wird die in der Epidermiszelle lagernde Pilzzelle nicht zu einer dickwandigen Dauerspore, sondern entwickelt sich ohne Unterbrechung in Zeit weniger Tage direkt zu einem Sorus. Da die aus diesem her-

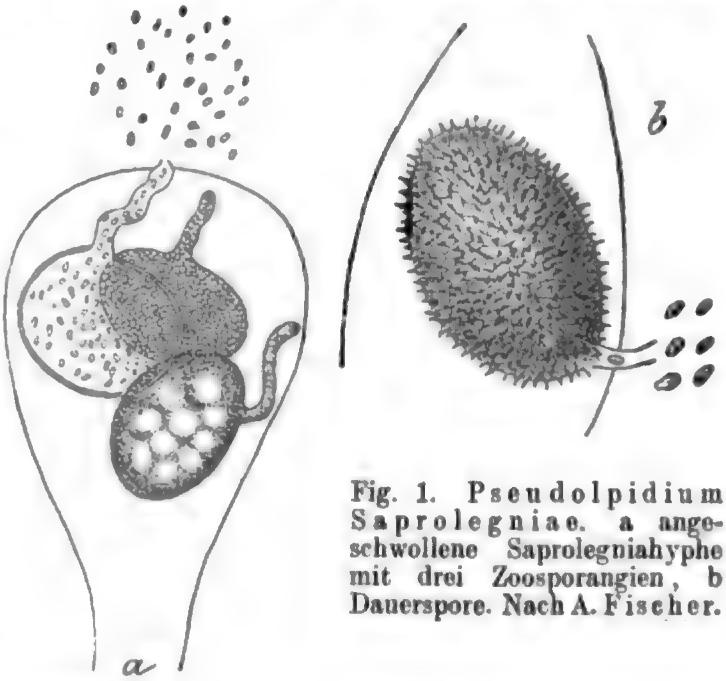


Fig. 1. Pseudolpidium Saprolegniae. a angeschwollene Saprolegniahyphe mit drei Zoosporangien, b Dauerspore. Nach A. Fischer.

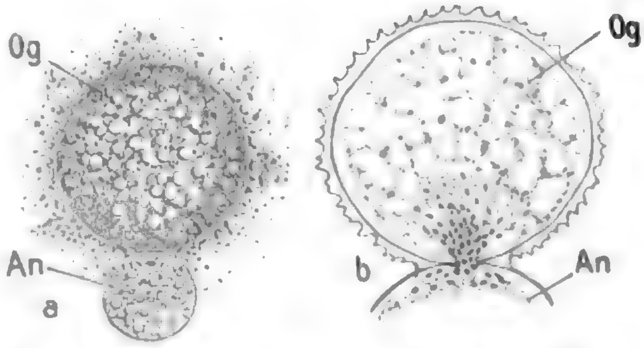
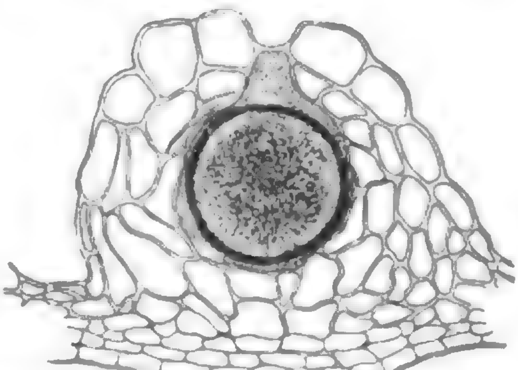


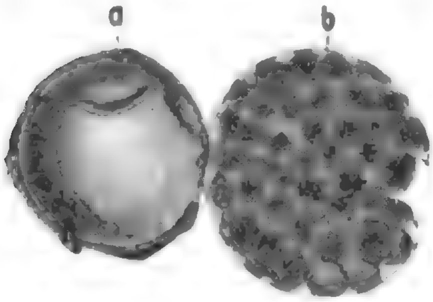
Fig. 2. Olpidiopsis luxurians. a junge Dauerspore (Og) und anliegende männliche Zelle (An) im Protoplasma des Wirtes eingebettet. b Uebertritt des Inhaltes der männlichen Zelle in die Dauerspore. Nach Barrett.



Figur 3. Synchytrium aureum. Dauerspore in einer vergrößerten Epidermiszelle, von einer kleinen gallenartigen Gewebewucherung umgeben. Nach W. Rytz.

Digitized by Google

vorgehenden Zoosporen sofort wieder neue Taraxacumpflanzen befallen, so können während der



Figur 4. Synchytrium Saxifragae. Dauerspore (a) mit ausgetretenem Sorus (b). Nach W. Rytz.

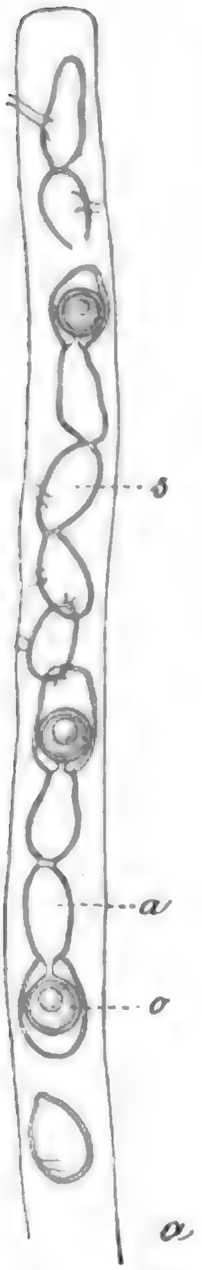


Fig. 5. Myzocytium proliferum in einer Algenzelle. s entleerte Zoosporangien, a Antheridien, o Oogonien mit Oospore. Nach Zopf.

günstigen Jahreszeit mehrere Pilzgenerationen aufeinander folgen. Zur Ueberwinterung eignen sich aber diese Sori nicht, daher bildet der Pilz außer denselben noch besondere Dauersporen, die nach der winterlichen Ruhezeit (ohne Sorusbildung) durch Zerfall ihres Inhaltes in Zoosporen keimen.

2. Mycochytridineen. Im Gegensatz zu den Myxochytridineen ist der Vegetationskörper der Mycochytridineen von Anfang an membranumgeben. Bei den Ancylisteen geht er ganz in der Bildung von Fortpflanzungsorganen auf, während bei den drei anderen Gruppen die letzteren einem meist zarten Mycel ansitzen.

a) Ancylisteen. Die zur Ruhe gekommene Zoospore treibt, nachdem sie sich mit einer Haut umgeben hat, in die Wirtszelle (meist Alge) einen feinen Fortsatz, der alsbald zu einer membranumgebenen Hyphe heranwächst. Bei Myzocytium (Fig. 5) bleibt diese unverzweigt und zerfällt in eine Kette von länglichrunden Zellen. Von diesen Zellen werden die einen zu Zoosporangien (s), welche ihren Inhalt durch einen aus der Wirtszelle austretenden Schlauch entleeren, andere dagegen wandeln sich in Sexualorgane um: von zwei nebeneinander liegenden Zellen sendet die eine (**Antheridium**, a) einen kurzen Fortsatz in die anstoßende (**Oogonium**, o) und läßt ihr Protoplasma in sie übertreten. Dann verschmelzen die beiden Protoplasmakörper, runden sich ab, umgeben sich mit dicker Membran und stellen nun eine Dauerspore (Oospore) dar. — Aehnlich verhält sich Lagenidium; hier ist aber die Hyphe verzweigt und zeigt keine Einschnürungen, ferner können die Antheridien und Oogonien auf verschiedenen Zweigen derselben, oder sogar auf verschiedenen in der gleichen Wirtszelle liegenden Individuen auftreten.

b) Rhizidiaceen. Aus den sehr mannigfaltigen Vertretern dieser Familie greifen wir zunächst Rhizophidium pollinis (Fig. 6) heraus, das man häufig auf Pollenkörnern trifft, die in Sumpfwasser liegen. Die zur Ruhe gekommene Zoospore treibt in das Innere des Pollenkorns einen Fortsatz, dieser wächst zu einem querwandlosen, äußerst feinen und schwer sichtbaren wurzelartig verästelten Mycel aus, das zur Nahrungsaufnahme dient. Dann schwillt die außen noch ansitzende Spore, ohne sich vom Mycel durch eine Querwand abzugrenzen, zu einem kugeligen, dünnwandigen Zoosporangium an, dessen eingeißelige Zoosporen durch eine oder mehrere Oeffnungen entlassen werden. Zur Ueberdauerung ungünstiger Außenbedingungen können an Stelle der Zoosporangien Dauersporen (Fig. 6, B) entstehen, die ebenfalls außen am Pollenkorn ansitzen. Von Rhizophidium unterscheiden sich die übrigen

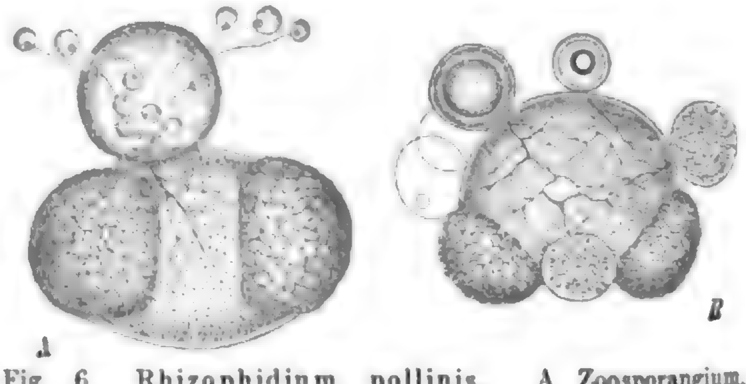


Fig. 6. Rhizophidium pollinis. A Zoosporangium, B Dauersporen und Zoosporangien. Nach Zopf.

Vertreter der Familie in bezug auf die Ausbildung des Mycels, die Zahl der an demselben entstehenden Sporangien, die Form und Oeffnungsweise der letzteren (mitunter öffnen sie sich durch einen Deckel), die Lage der Sporangien und Dauersporen (oft im Innern der Wirtszelle statt an der Oberfläche) usw. Eine der höchststehenden Formen ist Polyphagus Euglenae (Fig. 7), bei welchem geschlechtliche Vorgänge beobachtet sind: Es handelt sich hier um ein frei im Wasser lebendes Pflänzchen, das aus einer kleinen Blase (a, b) besteht, von der nach allen Seiten ein feinverästeltes Mycel ausgeht. Mit seinen Zweigspitzen

Digitized by Google

dringt letzteres in Euglenen (e) ein und zieht aus diesen seine Nahrung. Die ungeschlechtliche Fortpflanzung erfolgt durch Vortreten eines dicken schlauchförmigen Zoosporangiums aus dem zentralen blasenförmigen Teil a (Fig. 7C). Bei der sexuellen Reproduktion (Fig. 7D) vereinigen sich die protoplasmatischen Inhalte zweier oft ungleich großer Pflänzchen zu einer Dauerspore (Zygote, Fig. 7s).

selben Anschwellungen, die sich mitunter noch durch Querwände teilen und in welchen sich Protoplasma sammelt, weshalb man sie Sammelzellen (s) genannt hat. Diese treiben dann einen kurzen Fortsatz, dessen Ende schließlich zu einer rundlichen Dauerspore (d) anschwillt. Die Keimung dieser Dauersporen tritt meist im Frühjahr ein, dabei zerfällt ihr Inhalt in Zoosporen, welche durch deckelartiges Oeffnen der Wand

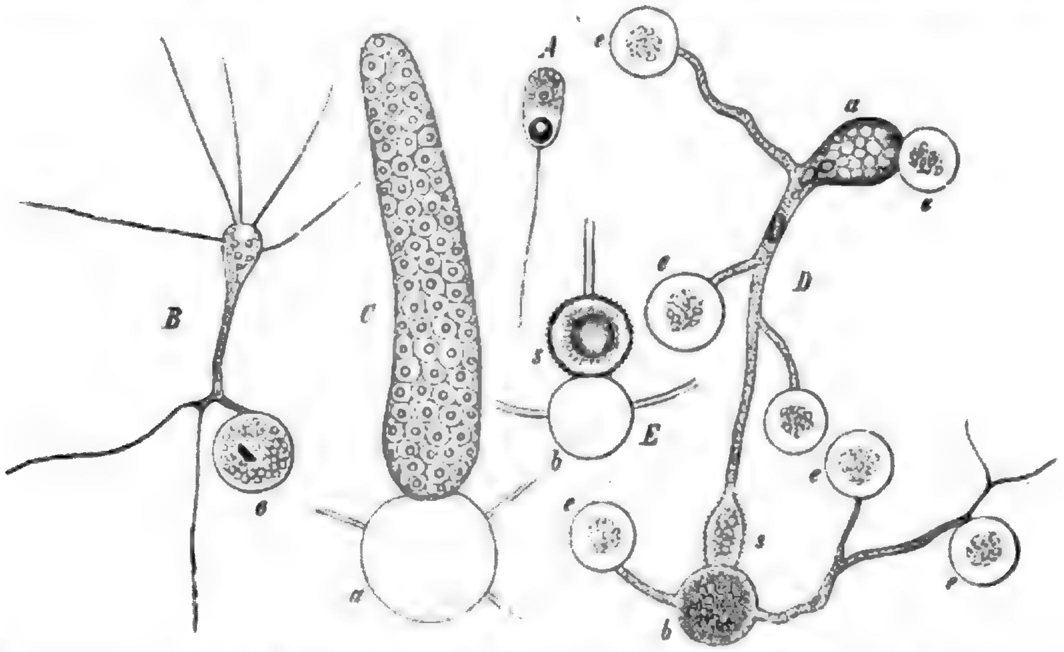


Fig. 7. Polyphagus Euglenae. A Schwärmspore, B junge Pflanze, C Zoosporangium, D Kopulation, E Zygospore (s). Nach Nowakowski.

frei werden. Gelangen solche Zoosporen wieder auf die Epidermis einer zusagenden Nährpflanze, so wachsen sie entweder wieder zu einem Mycel aus, oder aber es können aus ihnen Zoosporangien entstehen, die der Epidermis aufsitzen und ganz ähnlich wie Rhizophidium dünne wurzelartige Fortsätze in sie hineinsenden. Die Vertreter der verwandten Gattung Urophlyctis leben in ober- oder unterirdischen Teilen von Landpflanzen und bringen dort oft gallenartige Wucherungen hervor.

c) Hyphochytriaceen. Das Mycel ist mehr entwickelt und besteht aus dickeren Schläuchen als in der vorigen Gruppe. Die Sporangien sind durch eine Querwand abgegrenzt.

d) Cladochytriaceen. Die Gattung Physoderma (Fig. 8), die hier hauptsächlich be-

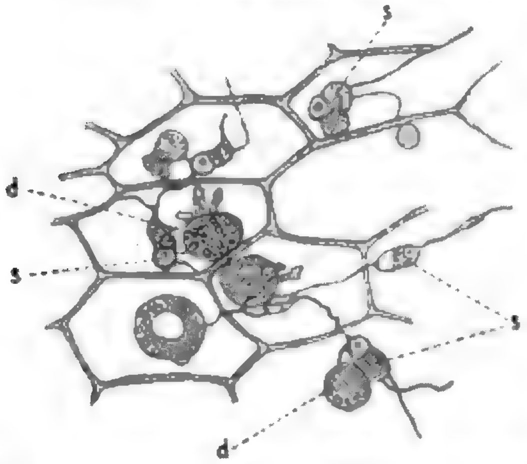


Fig. 8. Physoderma Butomi im Blattgewebe. s Sammelzellen, d junge Dauersporen. Nach Büsgen.

sprochen werden soll, lebt in mehreren Arten besonders auf Sumpf- und Wasserpflanzen. Ihr sehr dünnfädiges Mycel breitet sich im Inneren der Gewebe, die Membranen durchbohrend, von Zelle zu Zelle aus. Ab und zu entstehen an dem-

B. Oomyceten.

Im Gegensatz zu den Chytridineen finden wir hier überall reich ausgebildete und vielverzweigte Mycelien. Die ungeschlechtliche Reproduktion erfolgt bei den wasserbewohnenden Formen durch Zoosporenbildung, bei den landbewohnenden Parasiten können sich jedoch die Zoosporangien zu Einzelsporen (Conidien) reduzieren. Die geschlechtliche Fortpflanzung ist oogam, aber nur bei den Monoblepharideen wird die Eizelle durch Spermatozoiden befruchtet, bei den übrigen erfolgt der Uebertritt der männlichen Geschlechtskerne in das Ei durch Vermittlung eines Befruchtungsschlauches.

Bei der großen Uebereinstimmung des Baues und der Reproduktionsorgane von Monoblepharis mit den entsprechenden Teilen der Chlorophyceen liegt es nahe, die Oomyceten

Digitized by Google

auch phylogenetisch von diesen abzuleiten. In neuerer Zeit neigen aber manche eher dazu, die Oomyceten von einfacheren farblosen Organismen abzuleiten, wie wir sie bei den Chytridineen vorfinden. In diesem Falle gemüßte man dann die Oomyceten als eine Parallelreihe zu den Chlorophyceen ansehen, die aber einen von diesen unabhängigen Ursprung hätte.

1. **Monoblepharideen.** Die Repräsentanten dieser kleinen, bisher nur in wenigen Arten bekannten Pilzgruppe leben in Sumpfwasser auf abgefallenen Zweigen, Coniferennadeln usw. Sie sind sehr unscheinbar. Ihr Mycel besteht aus dünnen Hyphen mit wabig schaumigem Protoplasma und zahlreichen Kernen. Bei der ungeschlechtlichen Fortpflanzung grenzt sich ein keulenförmig angeschwollenes Hyphenende (manchmal sind es auch mehrere hintereinanderliegende Abschnitte im Verlaufe einer Hyphe) durch eine Querwand als Zoosporangium ab; in diesem entstehen Zoosporen, die, mit einer langen Geißel versehen, meist am Scheitel austreten (Fig. 9a). Die geschlechtliche Fort-

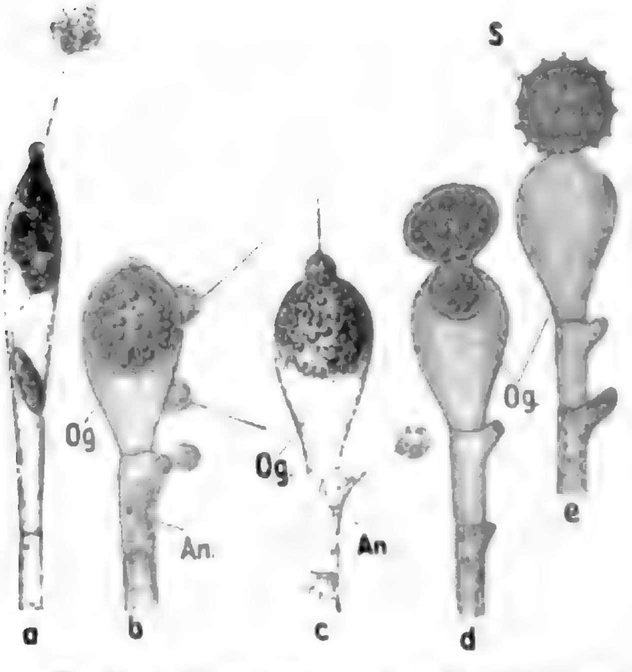


Fig. 9. a Zoosporangium von Monoblepharis macrandra, b bis e Befruchtungsvorgang bei M. sphaerica. Og Oogonium, An Antheridium, aus dem Spermatozoiden austreten. S Oospore. Nach Woronin.

pflanzung wollen wir für Monoblepharis sphaerica beschreiben· das Ende (oder auch andere Stücke) eines Mycelzweiges schwillt blasenförmig an, grenzt sich durch eine Querwand ab und stellt nun das Oogonium dar (Fig. 9 Og.). Dann ballt sich sein Protoplasma zusammen zu einer einzigen einkernigen Eizelle. Das unmittelbar unter dem Oogonium liegende Hyphenstück wird dann ohne seine Form zu verändern zum Antheridium (Fig. 9 An), dessen Inhalt in mehrere Spermatozoiden zerfällt. Diese treten seitlich aus und sehen mit ihrer einzigen Geißel den Zoosporen zum Verwechseln ähnlich aus. Gelingt es einem derselben sich auf dem papillenförmig vorgewölbten Scheitel des Oogons festzusetzen, so löst sich hier die Oogoniumwand auf und es erfolgt die Vereinigung des Spermatozoids mit der Eizelle (Fig. 9c). Ist dies geschehen, so erfährt das befruchtete Ei oder wie wir es jetzt nennen, die junge Oospore, einige Lageveränderungen, tritt schließlich vor die Oogoniummündung aus (Fig. 9d) und umgibt sich mit gelbbrauner höckeriger Membran (Fig. 9e). Gegenüber M. sphaerica zeigen andere Arten verschiedene Modifikationen: z. B. andere Stellung der Antheridien, Nichtaustreten der Oosporen aus dem Oogon.

2. **Saprolegnieen.** Diese Pilze erhält man am besten, wenn man soeben getötete Mehlwürmer, Fliegen oder dergleichen auf die Oberfläche von Wasser aus einem Sumpfgraben legt, in welchem sich faulende Pflanzenteile usw. befinden. Nach einigen Tagen erscheint an ihnen ein nach allen Seiten hin ausstrahlendes weißes Mycel, das aus dicken scheidewandlosen Hyphen besteht. An diesem treten gewöhnlich zunächst Zoosporangien auf. Es sind das Hyphenenden, welche meist keulenförmig anschwellen, dichtes Protoplasma mit vielen Kernen in sich aufnehmen und durch eine Querwand abgegrenzt werden. Dann zerfällt ihr Inhalt durch Zerklüftung in zahlreiche polyedrische einkernige Portionen, die Anlagen der Zoosporen. Diese zeigen in ihrem weiteren Verhalten Verschiedenheiten, welche in der Systematik der Saprolegnieen zur Unterscheidung verschiedener Gattungen benutzt worden sind: Bei Pythiopsis runden sie sich ab, treten dann mit zwei endständigen Geißeln versehen am Scheitel des Sporangiums aus und schwärmen eine Zeitlang im Wasser herum. Nachdem sie zur Ruhe gekommen sind, umgeben sie sich mit einer Membran und wachsen zu einer neuen Mycelhyphe aus. Bei Saprolegnia verhalten sie sich zunächst ebenso (Fig. 10), aber nachdem sie sich mit einer Haut umgeben haben, schlüpft ihr Inhalt noch einmal aus der Membran aus und macht ein zweites Schwärmstadium durch, diesmal mit zwei seitlich angehefteten Geißeln. Erst nach diesem zweiten Schwärmen kommen sie definitiv zur Ruhe und wachsen zum Mycel aus. Dieses zweimalige Schwärmen (Diplanie) war unter den Pilzen bisher nur hier bei Saprolegnia bekannt. In neuester Zeit sind aber auch bei Chytridineen (Olpidiopsis) Andeutungen einer solchen Erscheinung beobachtet worden. Die Gattung Achlya ist ebenfalls diplanetisch, doch ist das erste Schwärmstadium

igitized by Google

verkürzt: Die Zoosporen bleiben nach ihrem Austritt aus dem Sporangium vor dessen Mündung in kugeliger Ansammlung liegen, umgeben sich sofort mit Membran und entlassen dann wieder ihren Inhalt in Form von seitlich begeißelten Zoosporen. Bei Dictyuchus ist das erste Schwärmstadium ganz unterdrückt: die polyedrischen Zoosporenanlagen grenzen sich im Innern des Sporangiums durch Scheidewände voneinander ab und treten dann, mit seitlich angehefteten Geißeln versehen, durch seitliche Oeffnungen aus dem Sporangium aus. Bei Aplanes endlich (gelegentlich übrigens auch bei den übrigen Gattungen) runden sich die Zoosporen ab, jede derselben umgibt sich schon im Sporangium mit einer besonderen Membran und wächst, ohne geschwärmt zu haben, sofort zu einer Hyphe aus. — Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung werden Oogonien und Antheridien gebildet (Fig. 11). Erstere sind kugelige, birnförmige oder sternförmig ausgezackte, durch Querwände abgegrenzte Anschwellungen der Mycelzweige. Sie entstehen entweder am Ende von Seitenzweigen (Fig. 11), oder einzeln oder zu mehreren hintereinander im Verlauf der Hyphen. Sie enthalten 1—50 kugelige einkernige Eizellen (Fig. 11, o¹). Die Antheridien (Fig. 11, a) sind Endzellen dünner Zweige, die sich an das Oogonium anlegen, und die entweder am Stiel des Oogoniums selber oder aber in größerer Entfernung von ihm entspringen. In letzterem Falle können sie oft große Länge erreichen, sich verzweigen und in mannigfacher Weise die oogoniumtragenden Hyphen umspinnen. Seltener entstehen die Antheridien wie bei Monoblepharis sphaerica direkt unter dem Oogonium. Das Antheridium enthält eine Mehrzahl von Kernen, die eine Teilung durchmachen. Es entsendet dann in das Oogonium einen oder mehrere schlauchförmige Fortsätze (Befruchtungsschläuche, Fig. 12). Diese

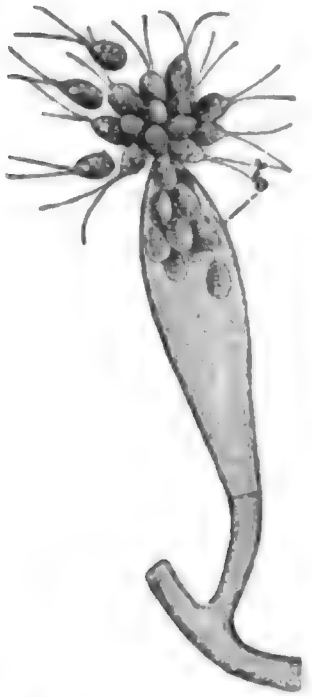


Fig. 10. Zoosporangium von Saprolegnia mixta, die Zoosporen S² entlassend. Nach G. Klebs.

dringen mit ihrer Spitze in die Eizellen (Fig. 12o) ein; dann öffnen sie sich und lassen einen der Antheridienkerne (Spermakern, sk) austreten, welcher schließlich mit dem

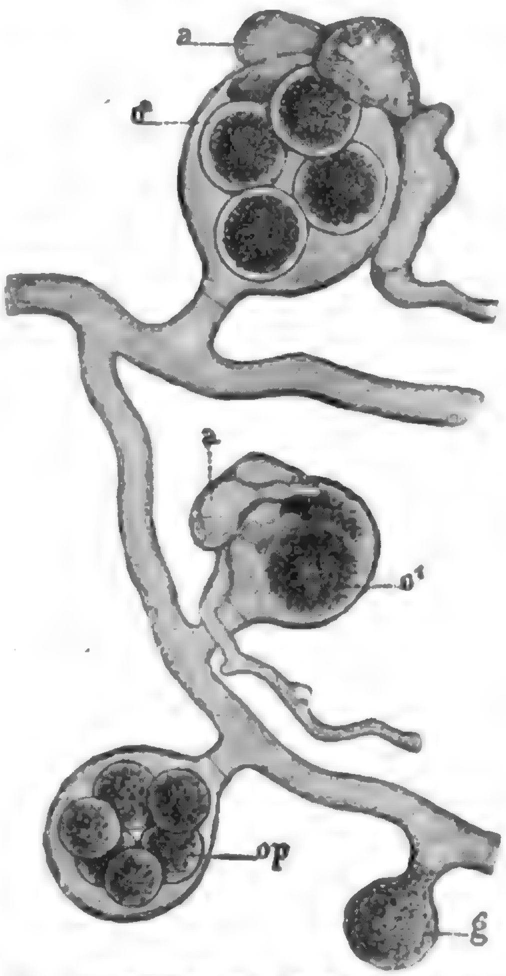


Fig. 11. Antheridien und Oogonien von Saprolegnia mixta. Nach G. Klebs.

Eikern (ek) verschmilzt und so die Befruchtung vollzieht. Die befruchtete Eizelle ist nun zur Oospore geworden und umgibt sich mit einer dicken glatten Haut (Fig. 11, O²). Nach Ablauf einer mehr oder weniger langen Ruhezeit keimt sie entweder durch Anwachsen zu einem Keimschlauch, der bald wieder ein Zoosporangium produziert, oder

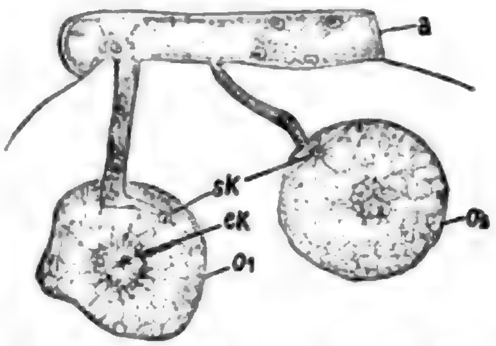


Fig. 12. Achlya polyandra. An der Oogoniumwand anliegendes Antheridium (a), das Befruchtungsschläuche in zwei Eizellen entsendet. Nach Trow.

durch direkten Zerfall ihres Inhaltes in Zoosporen. — Es kommt bei den Saprolegnieen (bei gewissen Species ganz konstant) auch Parthenogenesis vor: in diesem Falle unterbleibt die Befruchtung, sei es daß keine Befruchtungsschläuche entstehen oder daß überhaupt keine Antheridien zur Ausbildung kommen (so in Fig. 11 bei op); aber dennoch werden die Eizellen zu normalen Oosporen.

Als eine besondere Familie hat man von den typischen Saprolegnieen die Leptomitaceen ausgeschieden, die sich hauptsächlich durch ihre in regelmäßigen Abständen eingeschnürten Hyphen auszeichnen.

3. **Peronosporeen.** Von einer Anzahl wasserbewohnender Formen abgesehen sind die Peronosporeen sämtlich Parasiten auf Landpflanzen (vgl. auch den Artikel „Pflanzenkrankheiten, Infektiöse Pflanzenkrankheiten“). Das Mycel verästelt sich bei Pythium häufig auch außerhalb des Nährsubstrates, bei den übrigen Vertretern der Gruppe dagegen lebt es ganz im Innern der Nährpflanzen, meistens in den Intercellularräumen und entsendet Haustorien in die lebenden Zellen. Es bewirkt entweder ein Absterben der Gewebe oder ruft abnorme Wachstumserscheinungen hervor. Die ungeschlechtliche Fortpflanzung zeigt ziemlich mannigfaltige Verhältnisse: In der Gattung Pythium, deren Arten vielfach Wasserbewohner sind, werden an beliebigen Mycelzweigen Zoosporangien von meistens kugeliger Form gebildet. Diese treiben kurz vor ihrer Reife einen seitlichen schnabelartigen Fortsatz, der dann an seiner Spitze zu einer Blase anschwillt, in die das ganze Protoplasma hineinwandert und in zweigeißelige Zoosporen zerfällt. Bei den übrigen Peronosporeen erfährt die ungeschlechtliche Fortpflanzung Modifikationen, die man ohne Zwang als Anpassung an das Leben außerhalb des Wassers deuten kann: Plasmopara viticola entsendet aus dem Blattinnern durch die Spaltöffnungen Mycelzweige an die Oberfläche, welche sich bäumchenförmig verästeln (Fig. 13A) und an den Enden ihrer Zweige kleine eiförmige Zoosporangien zur Entwickelung bringen. Diese lösen sich nun ab, können durch den Wind weitergetragen werden und erst wenn sie in einen Wassertropfen fallen, erfolgt in ihrem Innern die Bildung der Zoosporen (Fig. 13C). Nach ihrem Austritt schwärmen diese eine Zeitlang herum, dann umgeben sie sich mit einer Membran und entsenden einen Keimschlauch, der durch die Spaltöffnungen wieder in die Nährpflanze eindringt und zum Mycel auswächst. Es haben sich also in diesem Falle die Zoosporangien zu Sporen (Conidien) reduziert, die erst nach ihrer Ablösung Zoosporangiencharakter annehmen. Noch weiter geht diese Reduktion bei Peronospora: hier bilden die Conidien, auch wenn sie in einen Wassertropfen gelangen, keine Zoosporen mehr, sondern sie wachsen direkt zu einem Keimschlauche aus, der in die Nährpflanze eindringt. Solche Conidienbildungen finden wir auch bei anderen Peronosporeen; bei Phytophthora entstehen sie ebenfalls auf den Zweigenden der Träger, werden aber dann durch einen Seitenzweig zur Seite gedrängt, der an seiner Spitze eine zweite Conidie bildet usw. Bei Albugo (Cystopus) werden die Conidien unter der Epidermis der Nährpflanze in kettenförmigen Reihen abgeschnürt (Fig. 14). In diesen beiden Gattungen bilden sie, wenn sie in Wassertropfen gelangen, Zoosporen.

Die Organe der geschlechtlichen Fortpflanzung entstehen bei Pythium an den Mycelzweigen außerhalb des Substrates, bei

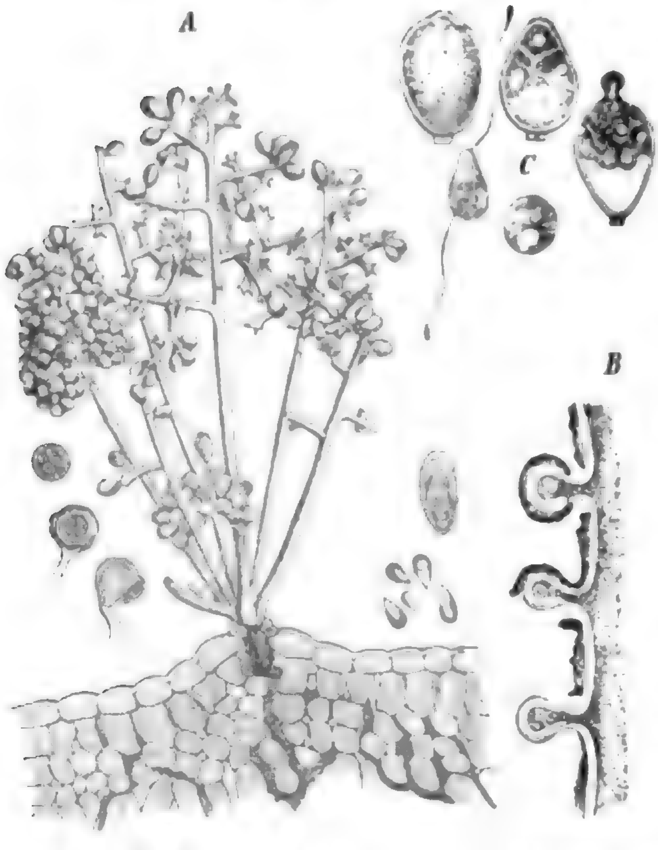


Fig. 13. Plasmopara viticola. A bäumchenförmig verästelte Conidienträger, daneben Oogonien und Oosporen, B Haustorien, C Zoosporenbildung. Nach Millardet.

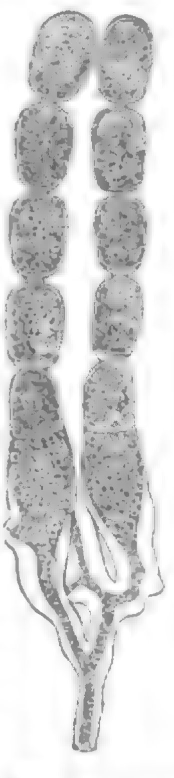


Fig. 14. Albugo Portulacae. Conidienketten. Nach de Bary.

Digitized by Google

den übrigen Gattungen dagegen im Innern der Nährpflanze. Sie bestehen wie bei den Saprolegnieen aus einem Oogonium, an das sich das Antheridium anlegt und einen Befruchtungsschlauch treibt (Fig. 15). Beide

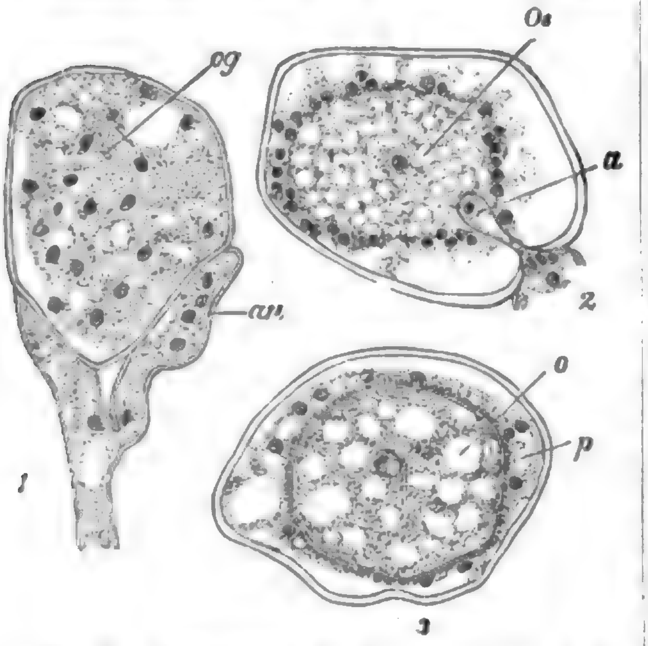


Fig. 15. Befruchtung der Peronosporeen. 1 Peronospora parasitica, 2,3 Albugo candida, og Oogon, an Antheridium, a Befruchtungsschlauch, os Eizelle, o Oospore, p Periplasma. Nach Wager.

Organe enthalten anfänglich einen gleichförmigen protoplasmatischen Inhalt mit zahlreichen Zellkernen (Fig. 15,1). Hierauf scheidet sich der Oogoniuminhalt in zwei Partien: eine zentrale, welche zur Eizelle wird, und eine peripherische, welche man Periplasma nennt. Im Gegensatz zu den Saprolegnieen enthalten also die Peronosporeen in ihren Oogonien stets nur ein Ei, das von Periplasma umgeben ist (Fig. 15,2). Durch Kernübertritt aus dem Antheridium erfolgt dann die Befruchtung. — Nach derselben umgibt sich das Ei mit einer Membran. Diese ist anfänglich dünn (Fig. 15,3), es wird ihr aber dann von außen her eine oft dunkelgefärbte, mit allerhand Skulpturen versehene Außenschicht (Episporium) aufgelagert, zu deren Bildung das Periplasma verwendet wird. So entsteht die Oospore. Dieselbe besitzt im Gegensatz zu den meist kurzlebigen Conidien den Charakter einer Dauerspore und überwintert bei den auf Landpflanzen parasitierenden Formen gewöhnlich im abgestorbenen Gewebe des Wirtes. Ihre Keimung erfolgt nach Ablauf der Ruhezeit, meist im Frühjahr, durch Bildung eines Keimschlauches oder Zerfall ihres Inhaltes in Zoosporen.

C. Zygomyceten.

Die Zygomyceten haben wie die Oomyceten ein wohlentwickeltes Mycel. Die ungeschlechtliche Reproduktion erfolgt wie dort durch Bildung von Sporangien oder von Conidien; allein es zeigt sich hier überall Anpassung an terrestrische Lebensweise, indem auch die in Sporangien entstehenden Sporen membranumgeben sind. Zoosporen kommen niemals vor. — Die geschlechtliche Fortpflanzung ist isogam; es legen sich zwei an besonderen Mycelzweigen entstehende, im wesentlichen gleichgestaltete Zellen (Gameten) aneinander und lassen ihren Inhalt verschmelzen. Indes gibt es auch Fälle, in welchen sich gewisse Ungleichheiten zwischen diesen beiden Zellen zeigen. Daraus geht hervor, daß die Grenze zwischen den Oomyceten und Zygomyceten nicht eine ganz scharfe ist. In allen näher untersuchten Fällen sind die beiden Gameten ursprünglich vielkernig, sie entsprechen daher genau genommen nicht den Gameten der Conjugaten, sondern den Gametangien der Chlorophyceen. Wenn wir im folgenden dennoch den Ausdruck „Gamet" beibehalten, so geschieht es mit Rücksicht auf die bisher allgemein angewandte Terminologie. Einzig Basidiobolus macht eine Ausnahme, indem bei ihm die Gameten von Anfang an einkernig sind; diese Gattung kann man daher mit den Conjugaten in Beziehung bringen. Für die übrigen Zygomyceten ist dagegen phylogenetisch wohl eher eine nähere Verwandtschaft mit den Oomyceten anzunehmen.

1. **Mucorineen.** Diese Pilze sind fast sämtlich Saprophyten. Besonders häufig trifft man sie als „Schimmel" auf Brot, auf Exkrementen herbivorer Tiere, sehr verbreitet sind sie auch in Wald- und Gartenerde. Einen Uebergang zu parasitischer Lebensweise zeigen sie oft dadurch, daß sie lebende Früchte zum Faulen bringen können. Es gibt unter ihnen aber auch eine Anzahl von eigentlichen Parasiten, die auf dem Mycel von Angehörigen der eigenen Familie leben. Mucor corymbifer und einige andere Arten rufen, wenn man ihre Sporen in die Blutbahn von Warmblütern injiziert, Erkrankungen (Mykosen) hervor, wobei sie in den Nieren und anderen inneren Organen Mycel entwickeln. Beim Menschen trifft man sie mitunter bei Erkrankungen des Ohres (Otomycosis) an, aber wohl nur als sekundäre Erscheinung. Endlich können Mucorineen in zuckerhaltigen Flüssigkeiten Alkoholgärung hervorrufen. — Das Mycelium breitet sich reichverzweigt im Innern oder auch an der Oberfläche des Substrates aus. Als besondere Zweige desselben entwickeln sich z. B. bei Rhizopus nigricans Ausläufer; bei den Parasiten auf anderen Mucorineen werden Haustorien gebildet, die in die Hyphen ihrer Wirte eindringen (Fig. 19, h) oder sich außen an sie ansetzen. Die Hyphen des Mycels enthalten wie bei den übrigen Phykomyceten

Protoplasma mit zahlreichen Zellkernen. Scheidewände treten nur ausnahmsweise auf, so z. B. zur Abgrenzung abgestorbener Teile. Zuweilen kommt es aber vor, daß ganze Zweigsysteme durch zahlreiche Querwände in Ketten von rundlichen Zellen zerfallen (Oidium-Bildungen), und in zuckerhaltigen Flüssigkeiten können eigentliche Sproßmycelien entstehen. Auf nährstoffarmen Substraten bilden gewisse Arten im Verlaufe ihrer Hyphen dickwandige sporenartige Gebilde, die man Gemmen oder Chlamydosporen nennt. — Abgesehen von den soeben erwähnten sporenartigen Bildungen erfolgt die ungeschlechtliche Fortpflanzung bei Mucor und verwandten Gattungen durch membranumgebene Sporen, welche in Sporangien entstehen (Fig. 16, 17, 18). Das geht so zu: vom Mycel erheben sich dicke Zweige senkrecht in die Höhe, welche entweder einfach bleiben oder sich in charakteristischer Weise verästeln. Diese schwellen an ihrer Spitze blasig an und es sammelt sich hier reichliches Protoplasma mit vielen Kernen an, die sich später noch durch Teilung vermehren können. Diese rundliche Anschwellung ist das junge Sporangium; sie grenzt sich dann bald durch eine Wand

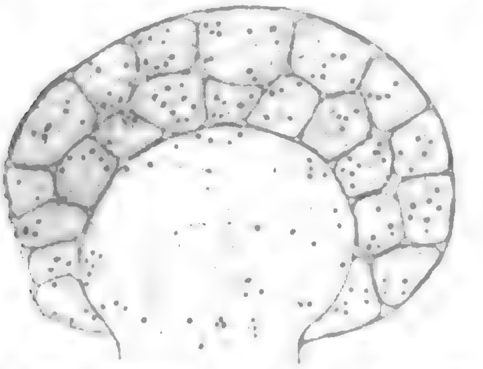


Fig. 16. Sporodinia grandis. Längsschnitt durch ein Sporangium mit Sporen. Nach Harper.

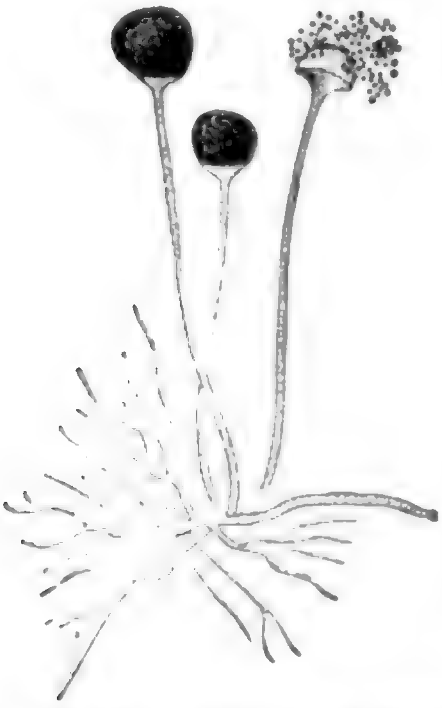


Fig. 17. Rhizopus nigricans. Kleine Gruppe von Sporangien mit ihren Trägern auf dem Mycel aufsitzend. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

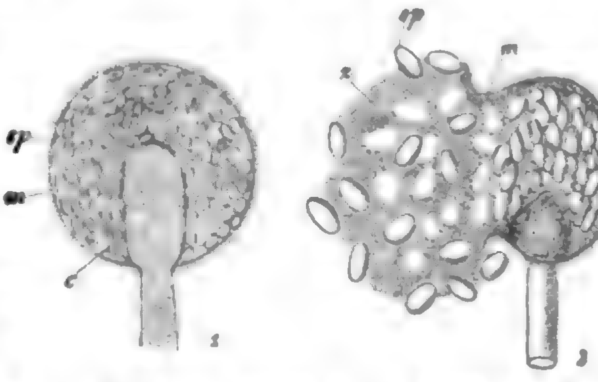


Fig. 18. Mucor Mucedo. 1 Sporangium mit Sporen (sp.) und Columella (c); m Sporangiumwand. 2 Mucor mucilagineus, Sporangium mit austretenden Sporen (sp.) und Zwischensubstanz z. Nach Brefeld.

ab, welche stark nach oben vorgewölbt sein kann und alsdann Columella genannt wird. Nun zerfällt das Protoplasma des jungen Sporangiums in zahlreiche Portionen, welche sich abrunden, mit einer Membran umgeben und nun die Sporen darstellen (Fig. 16, 18,1; das Nähere s. im Artikel „Fortpflanzung"). Beim geringsten Zutritt von Feuchtigkeit zerfließt die Außenwand des Sporangiums, und durch Verquellung einer Zwischensubstanz trennen sich die Sporen voneinander (Fig. 18, 2), so daß schließlich nur noch die Columella stehen bleibt (Fig. 17 rechts). — Etwas anders gestalten sich die Dinge bei Pilobolus, einem zierlichen mistbewohnenden Pilz, dessen dicker Sporangienträger unter dem Sporangium zu einer kristallhellen Blase angeschwollen ist. Zur Zeit der Sporenreife platzt diese Blase und das Sporangium wird als Ganzes mit großer Kraft abgeschleudert. — Bei anderen Mucorineen kann man eine Reduktion der Sporangien konstatieren: den ersten Schritt in dieser Richtung stellt Thamnidium dar: der Sporangiumträger bildet in dieser Gattung zwar an seiner Spitze meist noch ein vielsporiges Sporangium, aber seitlich entspringen kürzere, oft gabelig verzweigte Seitenäste, an deren Ende winzig kleine Sporangien (Sporangiolen) entstehen, welche nur wenige (oft vier, zuweilen nur eine) Sporen enthalten und sich leicht als Ganzes ablösen. Bei Chaetocladium, Piptocephalis (Fig. 19), Syncephalis und anderen finden wir endlich an Stelle der Sporangien nur noch Conidien, die auf verzweigten oder blasig angeschwollenen

gitized by Googl

Trägern einzeln oder auch in Ketten abgeschnürt werden. Sowohl bei den in Sporangien entstandenen Sporen als auch bei den

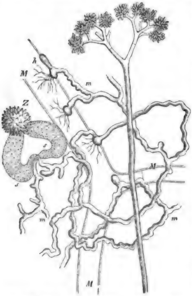


Fig. 19. Piptocephalis Freseniana. m Mycel mit Haustorien h, die in Hyphen M von Mucor Mucedo eindringen. Z Zygospore mit ihren beiden Suspensoren s. Rechts ein Conidienträger. Nach Brefeld.

Conidien erfolgt die Keimung durch Austreiben eines Schlauches, der direkt wieder zu einem Mycel heranwächst.

Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung der Mucorineen entstehen die beiden Gameten in manchen Fällen am gleichen Mycel, oft sogar an ganz benachbarten Zweigen. Es gibt aber auch andere Fälle, bei denen eine sexuelle Reproduktion nur dann eintreten kann, wenn zwei Mycelien von entgegengesetztem geschlechtlichem Charakter zusammentreten. Dabei unterscheiden sich aber diese zweierlei Mycelien voneinander weder in ihren äußeren Eigenschaften, noch in den Gameten, die sie produzieren. Man kann sie daher nicht als männliche und weibliche unterscheiden, sondern man braucht für sie die Bezeichnung + Mycel und — Mycel. Derartige Mucorineen nennt man heterothallisch im Gegensatz zu den homothallischen, bei denen die Mycelien eine derartige Verschiedenheit nicht aufweisen. Im einzelnen spielen sich die sexuellen Vorgänge folgendermaßen ab (Fig. 20): an der Berührungsstelle zweier Mycelzweige entstehen Anschwellungen, die zu zwei kurzen, mit ihrem Ende verbundenen Fortsätzen (Kopulationsfortsätze, Progameten, Fig. 20b) heranwachsen. Diese teilen sich meist durch eine Querwand in eine endständige Zelle, den Gameten, und den rückwärtsliegenden Suspensor (Fig. 20c). In der Form dieser Teile zeigen sich bei verschiedenen Mucorineen mancherlei Verschiedenheiten: gewöhnlich sind die Kopulationszweige geradlinig gestaltet (Fig. 20), sie können aber auch zangenförmig gegeneinander gebogen (Fig. 19) oder sogar schraubig umeinander geschlungen sein. Die beiden Gameten sind meist in Form und Größe völlig gleich, es gibt jedoch auch Fälle, in denen sie eine starke Größenverschiedenheit zeigen. Zuletzt löst sich die Scheidewand, welche die beiden Gameten von einander trennt, auf (Fig. 20d) und die Inhalte verschmelzen zur Zygote. — Die reife Zygote (Fig. 20e, Fig. 19 Z) erhält eine dunkle, derbe Membran, und ist oft stachelig skulptiert. Bei Mortierella wird sie überdies noch von einer Hülle dichtverflochtener Hyphen umsponnen, die aus den Suspensoren entspringen. — Die Keimung erfolgt nach Ablauf einer Ruhezeit durch Bildung eines Keimschlauches, der dann meist sofort an seiner Spitze ein Sporangium oder Conidien bildet. — Wie bei den Saprolegnieen, so kommen auch bei den Mucorineen Fälle vor, in denen die Verschmelzung der Gameten unterbleibt oder überhaupt nur ein solcher gebildet wird und dennoch eine Weiterentwickelung der

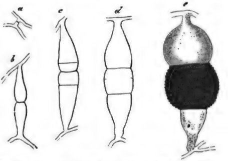


Fig. 20. Rhizopus nigricans. Verlauf der Kopulation. Nach de Bary.

Digitized by Google

Gameten zu einer Spore erfolgt, die völlig die Eigenschaften einer Zygospore aufweist; man nennt diese dann eine Azygospore.

2. Entomophthoreen. Die Vertreter dieser Gruppe verursachen tödlich verlaufende epidemische Erkrankungen von Insekten. Nur wenige Arten leben als Saprophyten auf Pflanzen. Als Beispiel wählen wir Empusa Muscae: bekanntlich findet man, besonders im Herbste, an Fensterscheiben oft tote Stubenfliegen, die von einem weißen Hofe umgeben sind. Dieser Hof besteht aus abgeworfenen Conidien. Gelangt eine solche auf den Körper einer Fliege, so treibt sie einen Keimschlauch; dieser dringt, die Haut durchbohrend, in den Insektenkörper ein. Nach einiger Zeit findet man den letzteren von unzähligen kürzeren oder längeren, unregelmäßig gestalteten und oft verästelten Pilzzellen erfüllt, die nach und nach die inneren Körperteile aufzehren. Darob geht natürlich die Fliege zugrunde und ihre von Pilzzellen ausgefüllte, äußerlich unverändert gebliebene Haut stellt jetzt eine eigentliche Pilzmumie dar. Nun beginnen die Pilzschläuche auszuwachsen, sie treten namentlich zwischen den Hinterleibsringen als ein dichter Schimmelrasen an die Oberfläche. Hier schwellen ihre Enden an und grenzen durch eine Querwand je eine (hier mehrkernige) Conidie ab (Fig. 21). Ist diese reif, so wird sie durch Platzen ihres Trägers oft zentimeterweit abgeschleudert: so entsteht jener weiße Hof rings um die tote Fliege. Die abgeworfenen Conidien können dann ihrerseits nochmals eine (sekundäre) Conidie bilden und abschleudern. Wird eine lebende Fliege von diesem Bombardement getroffen, so erfolgt auf oben beschriebene Weise aufs neue ihre Infektion.

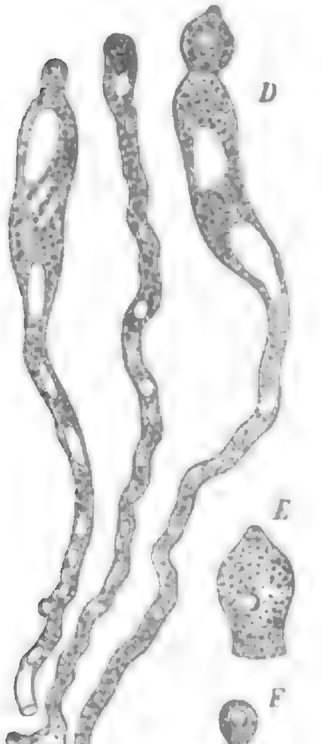


Fig. 21. Empusa Muscae. D Conidienträger, E abgeschleuderte Conidie, F sekundäre Conidie. Nach Brefeld.

Sexuelle Reproduktion ist bei Empusa Muscae nicht beobachtet, wohl aber kennt man solche bei anderen Arten, so bei Entomophthora sepulchralis (Fig. 22). Sie verläuft ähnlich wie bei den Mucorineen, nur mit einem charakteristischen Unterschied: die Zygote entsteht nicht direkt aus den verschmelzenden Gameten, vielmehr treibt der eine derselben (wir können ihn den weiblichen nennen) eine seitliche Ausstülpung. Diese schwillt blasig an und wird zur Zygote. Bei manchen Entomophthoreen entstehen ausschließlich Azygosporen.

Fig. 22. Entomophthora sepulchralis. Entstehung der Zygospore. Nach Thaxter.

3. Endogoneen. Die Gattung Endogone, der einzige zurzeit bekannte Vertreter dieser Gruppe, hat nach wechselvollen Schicksalen schließlich ihren Platz unter den Phykomyceten gefunden. Das hatte man nicht erwartet, weil Endogone eine Eigentümlichkeit besitzt, die sonst nur den höheren Pilzen zukommt: ihre Hyphen verflechten sich nämlich zu Fruchtkörpern, die als erbsenbis haselnußgroße rundliche Gebilde meist unterirdisch leben. Aber trotzdem sind ihre Hyphen wie bei anderen Phykomyceten scheidewandlos und enthalten zahlreiche Zellkerne. Die Vorgänge bei der sexuellen Reproduktion (Fig. 23, 24) entsprechen in den

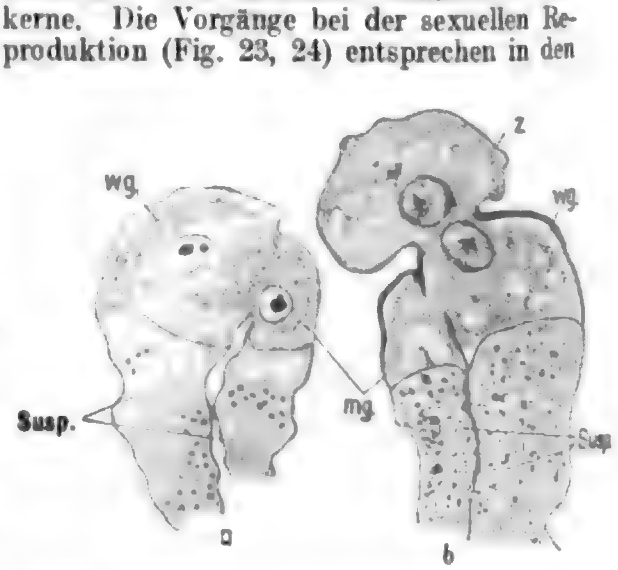


Fig. 23. Endogone lactiflua. a Kopulation, b Anlage der Zygospore. Nach Bucholtz.

igitized by Google

Hauptzügen denen der Mucorineen und namentlich der Entomophthoreen: im Innern der Fruchtkörper treten an zahlreichen Stellen paarig verbundene Kopulationszweige oder Progameten auf, von denen aber, im Gegensatz zu den meisten anderen Zygomyceten, der eine stets wesentlich schlanker ist als der andere. Beide enthalten zunächst zahlreiche kleine Kerne, dann tritt aber ein

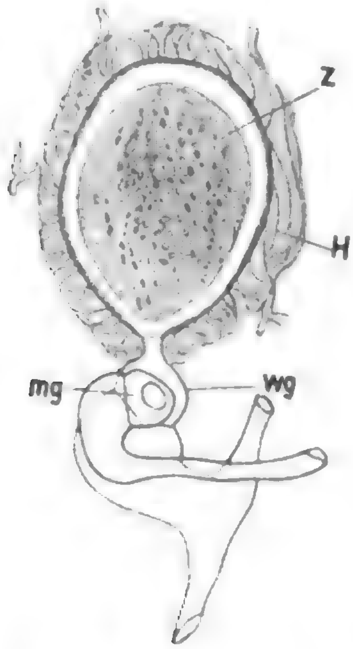


Fig. 24. Endogone lactiflua. Junge Zygospore mit Hyphenhülle. Nach Bucholtz.

größerer zentraler Kern, der eigentliche Geschlechtskern auf. Durch eine Scheidewand wird nun der Progamet wie bei den Mucorineen in Suspensor (Susp.) und Gamet (mg und wg) geteilt: der große Kern verbleibt im letzteren, während die zahlreichen kleinen sich vor der Scheidewandbildung in den Suspensor zurückgezogen haben. Hierauf treten die beiden Gameten in offene Verbindung (Fig. 23a), der Kern des kleineren (männlichen, mg) tritt in den größeren (weiblichen, wg) über, aber noch ohne mit dessen Kern zu verschmelzen. Die weiteren Vorgänge (Fig. 23b) sind wesentlich die gleichen wie bei Entomophthora sepulchralis: der weibliche Gamet treibt eine Ausstülpung (Z), in die beide Kerne einwandern, und diese schwillt zu einer kugeligen oder länglichen Zygospore (Fig. 24 Z) an. Diese erhält eine dicke Membran und wird überdies wie bei Mortierella von einer dichten Hyphenhülle (H) umsponnen, deren Hyphen ebenfalls später ihre Membran stark verdicken. Auch jetzt vereinigen sich die beiden Kerne noch nicht, vielmehr dürfte nach Analogie anderer Fälle ihre Verschmelzung meist erst vor der Keimung erfolgen, die aber leider noch nicht bekannt ist. — Bei anderen Endogonearten kommen nur solche derbwandige Sporen vor, die ohne vorangegangene Kopulation entstehen, aber sonst mit den Zygoten übereinstimmen, also Azygosporen.

4. **Basidioboleen.** Basidiobolus ranarum, der auf Froschexkrementen gefunden wurde, besitzt dicke, reichverzweigte Hyphen. Diese sind, abweichend von den übrigen Phykomyceten, in lauter einkernige Zellen gegliedert. Bei der ungeschlechtlichen Reproduktion wird am Ende von einfachen Trägern je eine Conidie gebildet und schließlich mit dem obersten Teil ihres Trägers abgeschleudert. Die sexuelle Fortpflanzung erinnert an die der Conjugaten: Zwei aneinanderstoßende Zellen bilden hart neben der Scheidewand je eine kurze Ausstülpung (Fig. 25a), in die der Zellkern hineinwandert

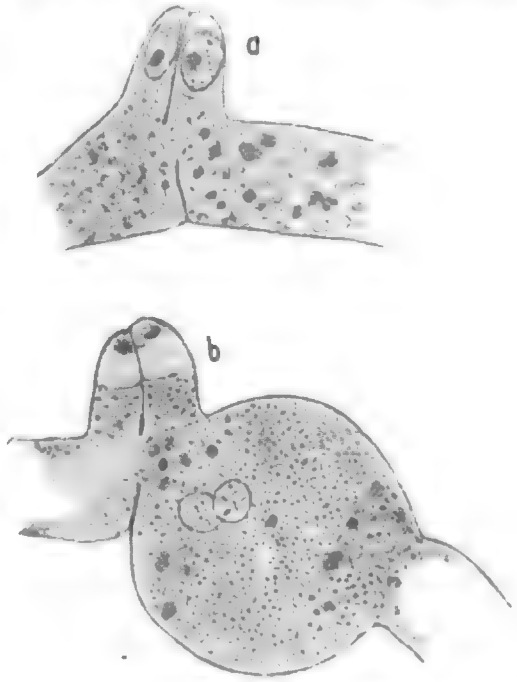


Fig. 25. Basidiobolus ranarum. Kopulation. Nach Fairchild.

und sich dann teilt. Von den beiden Tochterkernen verbleibt einer in der Spitze der Ausstülpung, die durch eine Querwand abgegrenzt wird, der andere tritt in die Zelle zurück. Während dessen entsteht in der Scheidewand zwischen den beiden aneinanderstoßenden Zellen eine Oeffnung; die eine dieser Zellen schwillt an und nimmt Protoplasma und Kern der anderen in sich auf (Fig. 25b). Schließlich umgeben sich die verschmolzenen Inhalte mit einer dicken Membran und stellen die Zygote dar. Ueber das Verhalten der Kerne bei deren Bildung sind noch weitere Untersuchungen erforderlich.

II. Ascomyceten.

Das Mycel der Ascomyceten ist, mit gewissen Ausnahmen (Saccharomyceten, La-

boulbeniaceen), stets wohlausgebildet und reichlich verzweigt. Seine Hyphen sind, im Gegensatz zu denen der Phykomyceten, durch Querwände in ein- oder mehrkernige Zellen geteilt. An diesem Mycel können ungeschlechtliche Conidienbildungen auftreten, welche denjenigen der Phykomyceten entsprechen. Diese zeichnen sich hier durch eine ganz außerordentliche Mannigfaltigkeit aus: wir finden sie in Form von Conidienträgern aller Art, nicht selten auch als Oidien, wie wir sie oben für die Mucorineen beschrieben haben. Sind die Conidienträger büschelig verwachsen, so spricht man von Coremien. Komplizierter sind diejenigen Bildungen, welche man mit dem Namen Conidienlager, Conidienstroma belegt hat: wir verstehen darunter größere, oft krusten-, polster-, keulenförmige oder noch anders gestaltete Körper, die durch dichte Verflechtung von Mycelhyphen entstanden sind und an deren Oberfläche die Conidien auf dicht nebeneinanderstehenden Hyphenenden abgeschnürt werden (Fig. 46D). Diese Lager können sich auch als geschlossene Behälter ausbilden, deren Innenwand von den conidienabschnürenden Hyphenenden austapeziert ist, man spricht dann von Conidienfrüchten oder Pykniden (Fig. 26 2), und die in ihnen ent-

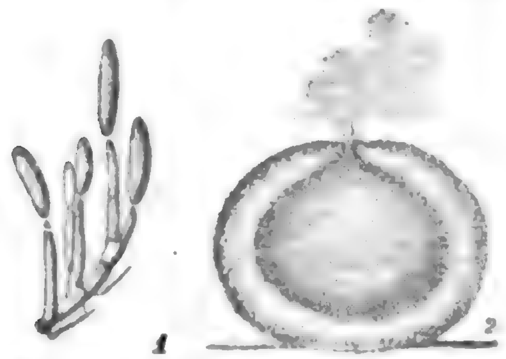


Fig. 26. 1 Pyknide von Strickeria obducens im Längsschnitt. Nach Tulasne. 2 Conidienabschnürung in der Pyknide von Cryptospora hypodermia. Nach Brefeld.

stehenden Conidien heißen Stylosporen oder Pyknosporen (Fig. 26 1). Von diesen verschiedenen Conidienformen können neben den unten zu besprechenden Ascusfruktifikationen mitunter mehrere bei ein und derselben Species vorkommen; dieses Auftreten verschiedener Sporenformen bei ein und demselben Pilze, wie es übrigens nicht nur bei den Ascomyceten, sondern auch bei den anderen Gruppen beobachtet wird, nennt man Pleomorphismus.

Während bei den Phykomyceten aus dem Sexualakt eine Dauerspore (Zygote) hervorgeht, entsteht bei den Ascomyceten entweder direkt aus der Vereinigung der Gameten oder an Aussprossungen des weiblichen Sexualorganes der Ascus. Es ist das eine meist dünnwandige Zelle von sehr wechselnder Gestalt: im einen Extrem kugelig, im anderen zylindrisch langgestreckt. Anfänglich enthält er einen männlichen und einen weiblichen Kern, diese verschmelzen dann bald miteinander zu einem einzigen mit doppelter Chromosomenzahl, einem diploiden Kern. Dieser geht dann sofort wieder in Teilung über und zwar ist dies nach allen bisher vorliegenden Untersuchungen eine Reduktionsteilung, aus der also wieder Kerne mit einfacher Chromosomenzahl hervorgehen. Auf diese Teilung folgt dann eine zweite, fast immer auch eine dritte, wobei aber die Zahl der Chromosomen nicht weiter reduziert wird. Schließlich enthält also in den meisten Fällen der Ascus 8 Kerne. Um diese herum entstehen dann durch sogenannte „freie Zellbildung" Sporen, welche sich mit Membran umgeben und frei im Ascus liegen. Es sind das die Ascosporen. Bei ihrer Bildung wird der Inhalt des Ascus nicht aufgebraucht, sondern die Sporen bleiben in einer Substanz eingebettet, in welcher namentlich Glycogen eine Rolle spielt, man nennt sie das Epiplasma. Bei manchen Ascomyceten enthält der Ascus weniger oder mehr als 8 Sporen: Sind es weniger, so hat sich der Kern nur zweimal geteilt oder es ist ein Teil der Sporenanlagen nicht zur Ausbildung gelangt; sind es mehr, so hat sich der Kern mehr als dreimal geteilt: bei Thelebolus dürften z. B. 10 Teilungen aufeinanderfolgen. Die Sporen weisen in ihrer Form alle Typen zwischen fadenförmig und kugelig auf, meist sind sie einzellig, sie können aber auch durch Scheidewände geteilt sein. Ihre Membran kann glatt oder verschiedenartig skulptiert sein. Sind sie reif, so treten sie aus dem Ascus aus, entweder durch gewaltsames Ausspritzen oder durch Desorganisation der Ascusmembran. Die Keimung erfolgt durch Auswachsen eines Keimschlauches.

A. Protascineen.

In dieser Gruppe vereinigt man diejenigen Ascomyceten, bei welchen (da wo überhaupt ein Sexualakt vorkommt) der Ascus direkt aus der Vereinigung der Geschlechtszellen hervorgeht. Aus einem Paare von Geschlechtszellen entsteht daher stets nur ein Ascus. Der Entwickelungsgang gestaltet sich somit folgendermaßen:

Ascospore → {Mycel (mit Conidien)} → Sexualzellen →
Gametophyt

Ascus
Sporophyt.

Verglichen mit dem oben für die Phykomyceten gegebenen Schema finden wir also

gitized by Google

als einzigen Unterschied den Umstand, daß hier an Stelle der Zygote der Ascus tritt. Die Protascineen sind auch dadurch einfach, daß bei ihnen Fruchtkörperbildungen nicht beobachtet sind. Ob die Beziehungen, welche die Protascineen zu den Phykomyceten zeigen, auf phylogenetischer Verwandtschaft beruhen, mag dahingestellt bleiben. Wenn man an eine solche denken will, so käme in erster Linie Basidiobolus in Frage, da dieser wie die Ascomyceten durch Scheidewände geteilte Hyphen besitzt.

1. **Endomyceten.** Alle sicher hierhergehörigen Pilze sind Saprophyten mit wohlausgebildetem Mycel. Dieses hat oft die Neigung oidienartige Bildungen zu entwickeln (Fig. 27), deren Zellen sich voneinander isolieren und durch Zweiteilung oder Sproßmycelbildung vermehren können. Sexuelle Vorgänge sind bei Eremascus und bei Endomyces Magnusii beobachtet. Bei Eremascus (Fig. 28) werden zwei aneinanderstoßende einkernige Zellen einer Hyphe zu Gameten. Jede derselben treibt, hart neben der Scheidewand, einen kurzen Fortsatz (Fig. 28a). Diese beiden Fortsätze können kurz bleiben, sie können sich aber auch gegenseitig schraubig umschlingen. Nun treten sie an ihrer Spitze in offene Kommunikation (Fig. 28b). Inzwischen hat sich in beiden Gameten der Kern geteilt, und von den Tochterkernen ist je einer in die Kopulationsfortsätze eingetreten (Fig. 28c). Zuletzt schwillt die Vereinigungsstelle der letzteren zu einer kugeligen Blase an (Fig. 28d). Diese wird zum Ascus: die von beiden Seiten her eingetretenen Geschlechtskerne verschmelzen zu einem einzigen, der sich dann dreimal teilt und so die Sporenbildung einleitet. Der reife Ascus enthält schließlich acht regellos gelagerte Sporen (Fig 28e). Es kommt nun häufig vor, daß

Fig. 27. Sproßmycelartige Oidiumbildungen bei Endomyces fibuliger. Nach Guilliermond.

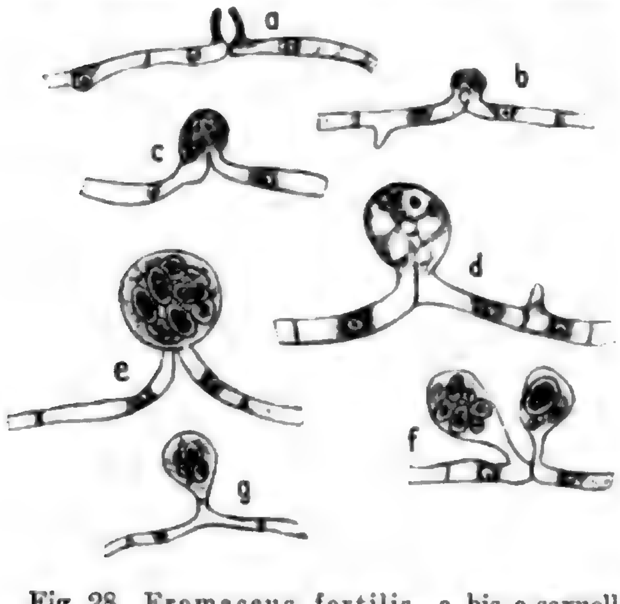


Fig. 28. Eremascus fertilis. a bis e sexuelle Entstehung des Ascus in sukzessiven Stadien, f g parthenogenetische Asci. Nach Guilliermond.

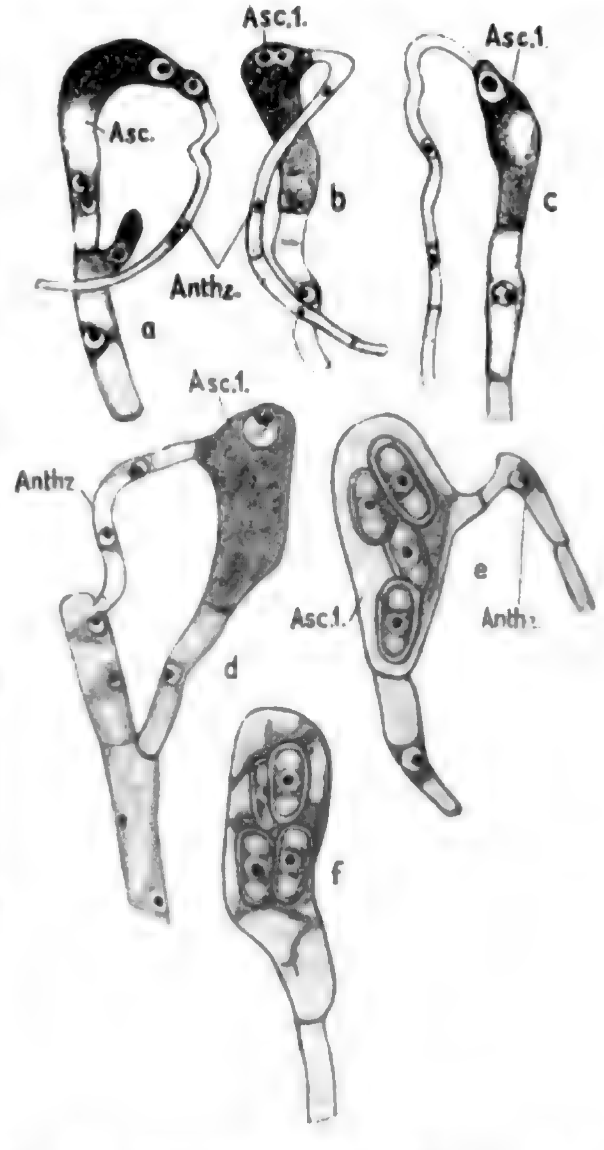


Fig. 29. Endomyces Magnusii. a bis e sexuelle Entstehung des Ascus (Asc. 1) in sukzessiven Stadien, Anthz. Antheridienzweig. f parthenogenetisch entstandener Ascus. Nach Guilliermond.

Digitized by Google

die beiden Gameten nicht miteinander in Verbindung treten, aber dennoch einer derselben oder beide sich zum Ascus entwickeln (Fig. 28f, g); dieser enthält dann natürlich von Anfang an nur einen Kern; eine Kernverschmelzung findet somit nicht statt, und man muß daher annehmen, daß vor der Sporenbildung auch die Reduktionsteilung unterbleibt. Man hat es also hier mit einem Falle von Parthenogenesis zu tun, den man der parthenogenetischen Entstehung von Oosporen bei den Saprolegnieen an die Seite stellen kann. — Ungleiche Gameten besitzt Endomyces Magnusii: am reichlich verästelten Mycel nehmen einzelne Zellen keulenförmige Gestalt an (Fig. 29asc.). Sie enthalten 1 bis 3 Kerne, von denen einer an den Scheitel wandert. Hier setzt sich nun ein dünner Mycelzweig (Antheridienzweig, Fig. 29 Anthz.) mit seiner etwas angeschwollenen Spitze an, in welcher ebenfalls ein Kern enthalten ist (Fig. 29a). An der Berührungsstelle wird jetzt die Membran aufgelöst, die Inhalte treten zusammen und die beiden Kerne legen sich hart aneinander (Fig. 29b). Die durch diese Verschmelzung entstandene Zelle grenzt sich dann nach beiden Seiten durch eine Querwand ab (Fig. 29b), schwillt an und wird zu einem länglichen Ascus (Asc. 1); in diesem verschmelzen nun die beiden aneinanderliegenden Kerne (Fig. 29c), dann schwillt er an (Fig. 29d) und bildet schließlich 4 längliche Sporen (Fig. 29e). Auch hier kann es aber vorkommen, daß ein Ascus ohne vorangehende Vereinigung mit einem Antheridiumzweig, also parthenogenetisch, zur Ausbildung kommt (Fig. 29f). — Diese parthenogenetische Entstehung der Asci ist nun für andere Endomycesarten (E. fibuliger, E. decipiens) Regel geworden; ebenso auch bei Saccharomycopsis capsularis, deren Asci ganz einfach durch Anschwellung der einkernigen Zellen gewisser Myceläste entstehen. Sexuelle Entstehung der Asci wurde bei diesen Arten noch nie beobachtet.

An die Endomyceten schließt sich vielleicht auch Dipodascus an. Derselbe besitzt ein Mycel mit vielkernigen Zellen. An zwei benachbarten Hyphen oder an zwei aneinandergrenzenden Zellen derselben Hyphe entstehen als kurze Seitenzweige dicke, mehrkernige Gameten, die miteinander in offene Verbindung treten und einen langen spitzzulaufenden vielsporigen Ascus bilden. Ebenfalls vielkernig ist der Ascus von Ascoidea, nur entsteht derselbe asexuell (parthenogenetisch?).

Ganz zweifelhaft bleibt, trotz mehrfacher Untersuchung, die Stellung von Protomyces (Fig. 30). Dieser Pilz lebt als Parasit in kleinen schwielenförmigen Gallen auf Landpflanzen. An seinem interzellulär verlaufenden Mycel schwellen, oft zu mehreren hintereinander, die Zellen zu kugeligen, dickwandigen und vielkernigen Dauersporen (Fig. 30a, b) an, welche überwintern. Bei ihrer

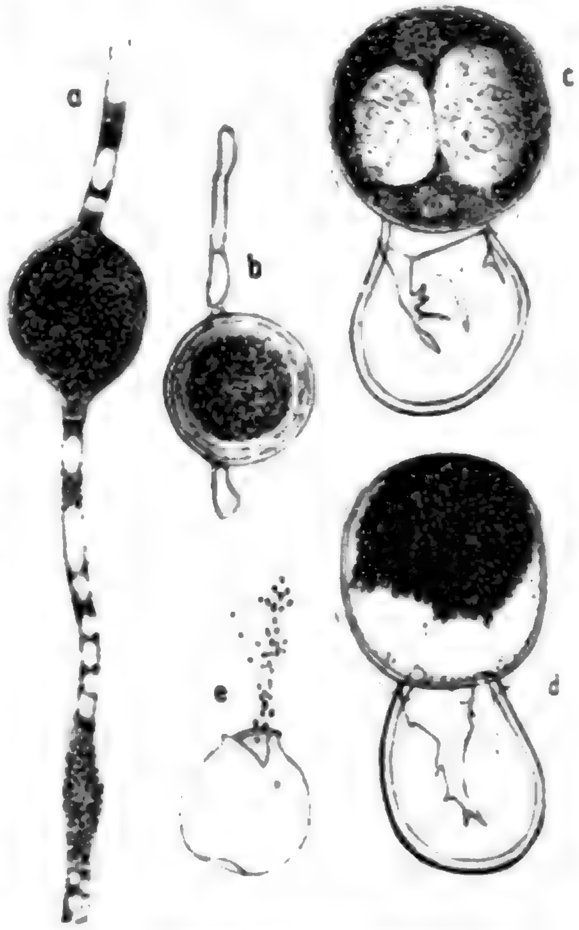


Fig. 30. Protomyces macrosporus. a Mycelfaden mit jungen Dauersporen, b reife Dauerspore, c, d Austritt der inneren Sporenhaut, e Ausspritzen der Sporen aus derselben. Nach de Bary.

Keimung tritt die innere Schicht der Sporenhaut mit dem protoplasmatischen Inhalt als dicker keulenförmiger Sack oder als kugeliges Gebilde (Fig. 30c) aus der äußeren Sporenhaut aus. Dann zerfällt unter mannigfachen Umlagerungen der Inhalt in zahlreiche Sporen (Fig. 30d), welche schließlich durch Platzen der Haut gewaltsam ausgespritzt werden (Fig. 30e). Es bleibt vor der Hand zweifelhaft, ob dieses austretende Gebilde als Ascus anzusehen ist oder nicht, und so lange hierüber nicht Klarheit besteht, läßt sich Protomyces ebenso wie die nahe verwandte Gattung Taphridium nirgends sicher unterbringen.

2. Saccharomyceten. Wir sahen oben, daß bei den Endomyceten häufig ein Zerfall von Hyphenzweigen in einzelne Zellen eintritt, die sich dann durch Teilung oder Sprossung vermehren. Das, was dort nur in gewissen Fällen stattfindet, wird nun hier Regel, indem man die Saccharomyceten fast immer nur in Form von Zellen antrifft, die sich durch

Digitized by Google

Sprossung (**Saccharomyces**, Fig. 31) oder durch einfache Teilung (**Schizosaccharomyces**) vermehren. Die nahe Verwandtschaft zwischen Saccharomyceten und Endomyceten geht aber vor allem aus ihrer übereinstimmenden sexuellen Reproduktion hervor.

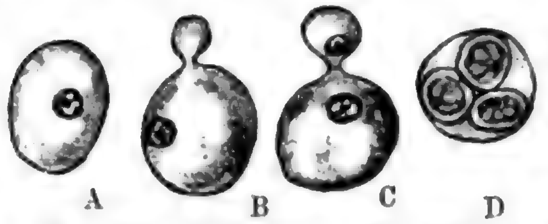


Fig. 31. Saccharomyces Cerevisiae. A, B, C Sproßzellen, D Ascus (4sporig). Nach Guilliermond.

Man kennt nämlich einige Saccharomyceten, bei denen Kopulationsvorgänge vorkommen:

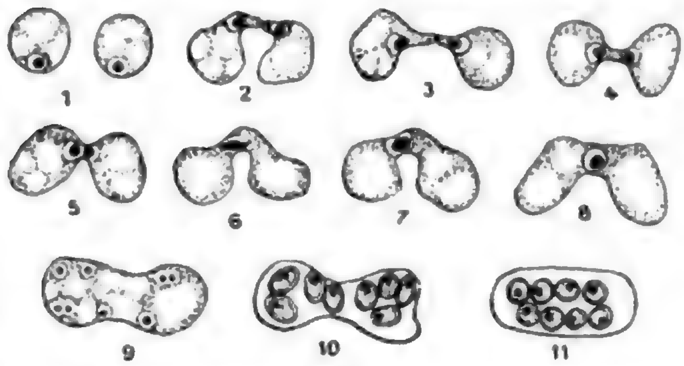


Fig. 32. Sexualvorgang bei Schizosaccharomyces octosporus. Nach Guilliermond.

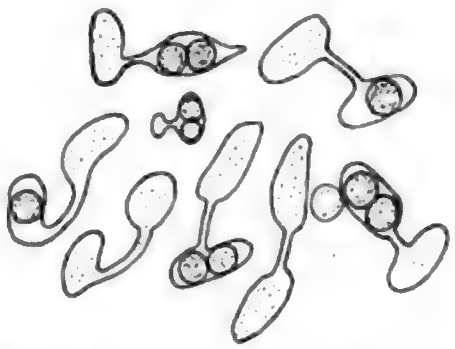


Fig. 33. Sexualvorgang einer Hefe. Nach Pearce und Barker.

zwei der erwähnten isolierten (einkernigen) Zellen verschmelzen, nachdem sie durch kurze Fortsätze in Verbindung getreten sind, direkt zu einem Ascus, in welchem ihre Kerne sich vereinigen und dann Ascosporen entstehen (Fig. 32); oder die eine entleert ihren Inhalt in die andere und diese wird dann zum Ascus (Fig. 33). In der großen Mehrzahl der Fälle freilich enstehen die Asci parthenogenetisch, indem unter gewissen Bedingungen ganz einfach eine Zelle, ohne sich mit einer anderen zu verbinden, in ihrem Inneren Ascosporen bildet (Fig. 31D). Ueber die Saccharomyceten als Erreger der alkoholischen Gärung s. den Artikel „**Gärung**".

B. Typische Ascomyceten.

Weit komplizierter als bei den Protascineen gestalten sich die sexuellen Vorgänge und deren Folgen bei den typischen Ascomyceten. Am genauesten untersucht sind sie für den Discomyceten **Pyronema confluens** (Fig. 34, 35, 36). Als kurze seitliche Auszweigungen von Mycelhyphen entstehen in mehreren Paaren nebeneinanderstehend die weiblichen und die männlichen Sexualorgane (Fig. 34A). Erstere nennt man **Archicarp**, **Carpogon**, auch **Ascogon** oder **Oogon** (og); sie stellen eine blasenförmige Zelle mit zahlreichen Kernen dar, auf deren Scheitel ein gebogener Fortsatz, das **Trichogyn** (t) aufsitzt. Dieses ist gegen das Archicarp durch eine Querwand abgegrenzt, die aber später, während des Befruchtungsaktes, eine Zeitlang verschwindet. An das Archicarp schmiegt sich, oft etwas gewunden, ein dünnerer Zweig an, der durch Querwand eine wiederum vielkernige Endzelle, das **Antheridium** (a) abgrenzt. Letzteres tritt (Fig. 34B) mit der Spitze des Trichogyns in offene Verbindung, seine Kerne wandern in das Carpogon ein und legen sich an dessen Kerne an (Fig. 34C, D). Das befruchtete Carpogon enthält also jetzt paarweise verbundene, aber nicht verschmolzene männliche und weibliche Kerne. Ein solches Kernpaar hat man unter (aller-

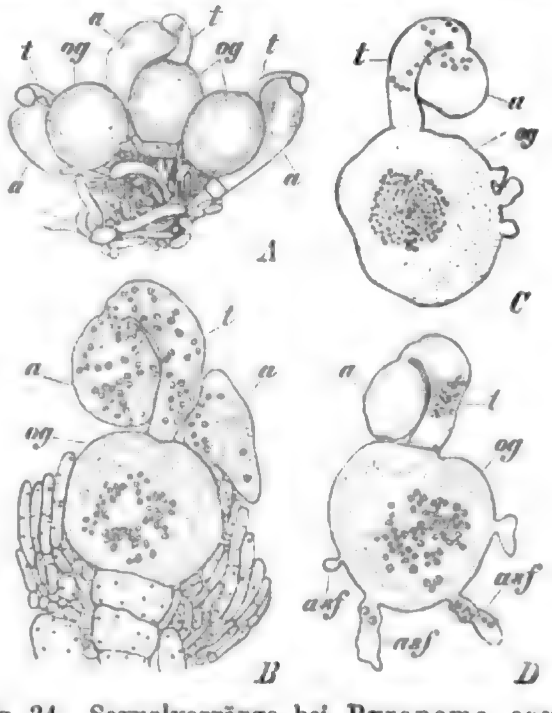


Fig. 34. Sexualvorgänge bei Pyronema confluens. Nach R. Harper.

Digitized by Google

dings nicht richtiger) Anwendung eines in der Zoologie gebräuchlichen Ausdruckes Synkaryon genannt. Nun beginnt das

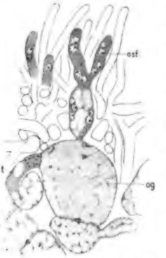


Fig. 35. Pyronema confluens. Archicarp mit einer der ascogenen Hyphen, in welche die Kernpaare eingewandert sind. Nach Claussen.

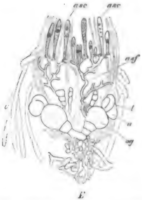


Fig. 36. Pyronema confluens. Schematische Darstellung der ascogenen Hyphen und Asci. Nach R. Harper.

Archicarp mehrere schlauchförmige Aussprossungen (asf) zu bilden, von denen in Figur 35 eine genauer dargestellt ist. Es sind das die sogenannten ascogenen Hyphen. In diese wandern die Kernpaare ein und erfahren daselbst mehrfache Teilungen, es treten auch Querwände und häufige Verästelungen auf. Schließlich entstehen an ihren letzten Verzweigungen die Asci (s. das schematische Bild Fig. 36, wo die Asci mit asc bezeichnet sind). Dabei biegen sich die Enden der ascogenen Hyphen hakenförmig ein (Fig. 37 A) und bilden Querwände.

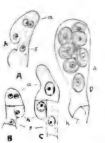


Fig. 37. Entstehung des Ascus aus dem Ende einer ascogenen Hyphe. A bis C Pyronema confluens. D Ascodesmis. Nach Harper und Claussen.

Die in der Umbiegungsstelle des Hakens liegende vorletzte Zelle a ist der junge Ascus. Das in ihm enthaltene Kernpaar (Fig. 37 B) stammt von den bei der Befruchtung entstandenen Doppelkernen ab. Die weiteren Vorgänge im Ascus haben wir bereits oben beschrieben (S. 894). Es entstehen somit bei Pyronema confluens die Asci nicht wie bei den Protascineen direkt aus den Sexualorganen, sondern indirekt durch Vermittlung der ascogenen Hyphen; infolgedessen können hier aus einem Sexualakt Asci in Mehrzahl hervorgehen. — Aehnliche Verhältnisse sind auch für andere Ascomyceten nachgewiesen, so bei Gymnoascus Reessii, bei Monascus, bei den Erysiphaceen Sphaerotheca und Phyllactinia. Im einzelnen zeigen diese gegenüber Pyronema kleine Abweichungen, so haben z. B. die beiden letztgenannten einkernige Sexualorgane und es fehlt ihnen das Trichogyn. — Für eine Reihe von weiteren Fällen ist eine andere Form der Befruchtung beschrieben worden: bei mehreren flechtenbildenden Ascomyceten ist das Archicarp eine knäuelig gewundene Hyphe, die sich in ein mehr oder weniger langes fadenförmiges Trichogyn fortsetzt (Fig. 38 A). An letzteres legt sich nun nicht ein Antheridium an; vielmehr werden in besonderen Behältern, die in ihrer Form mit den oben erwähnten Pykniden übereinstimmen, seltener an Hyphenzweigen im Thallus, sehr kleine sporenförmige Zellen gebildet; diese findet man häufig am Trichogyn ansitzend (Fig. 38 B) zuweilen auch mit ihm in offener Verbindung, und es wurde

by Google

angenommen, daß sie dort eine Befruchtung vollziehen, ganz in derselben Weise wie die Spermatien bei den Florideen. Man hat daher auch diese kleinen Zellen **Spermatien** genannt und die Behälter, in denen sie entstehen, **Spermogonien**. Dem gegenüber wird aber von anderer Seite geltend gemacht, daß noch nirgends ein Kernübertritt aus dem Spermatium in das Trichogyn nachgewiesen ist und daß in manchen Fällen die Spermatien, wenn man sie in geeignete Bedingungen bringt, wie richtige Sporen keimen können. Relativ noch am wahrscheinlichsten ist die sexuelle Funktion der Spermatien für die **Laboulbeniaceen** (s. unten), obwohl auch hier direkte Beobachtungen noch fehlen. — Noch andere Modifikationen der sexuellen Vorgänge hat man bei einer Reihe von Ascomyceten kennen gelernt, die zwar ein Archicarp besitzen, bei denen aber entweder kein Antheridium gebildet wird, oder dieses nicht mit dem Archicarp in Verbindung tritt. Dahin gehört **Aspergillus** mit seinem schraubenförmigen Archicarp und **Lachnea stercoraria** mit blasigem Archicarp; bei beiden können zwar Antheridien entstehen, aber ihre Kerne gelangen nicht in das Archicarp. Bei **Humaria granulata** findet man ein rundliches Archicarp, aber kein Antheridium. Bei **H. rutilans** endlich ist das Archicarp durch einen Knäuel septierter Hyphen repräsentiert. Für diese Ascomyceten ist nun wiederholt festgestellt worden, daß sich dennoch ein Vorgang abspielt, der als Sexualakt aufgefaßt werden kann: es vereinigen sich nämlich **die im Archicarp enthaltenen Kerne** paarweise miteinander, so daß in die aus dem Archicarp hervorsprossenden ascogenen Hyphen und in die jungen Asci wie bei Pyronema Kernpaare einwandern können. Bei **Polystigma rubrum** geht das Archicarp frühzeitig zugrunde und die Kernvereinigung findet in benachbarten vegetativen Zellen statt. Diese Vorgänge haben aber mit der Parthenogenesis der Protascineen nichts gemein (vgl. den Artikel „**Fortpflanzung der Pilze**").

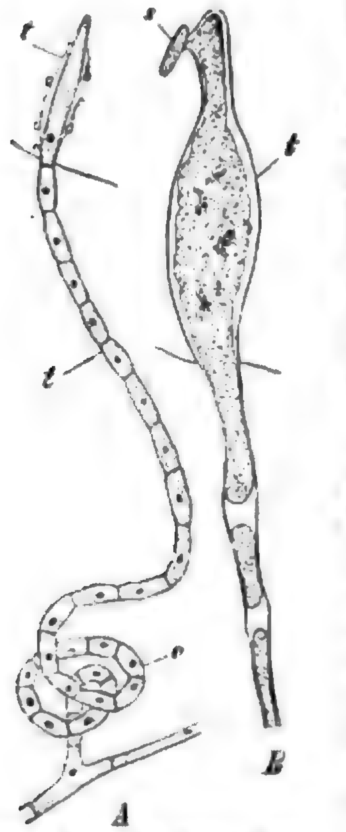


Fig. 38. A Archicarp (c) mit Trichogyn (t), B Trichogyn mit ansitzendem Spermatium (s) bei einem flechtenbildenden Ascomyceten (**Collema**). Nach E. **Baur**.

Bei den meisten typischen Ascomyceten kommt zu den beschriebenen Verhältnissen noch eine Komplikation hinzu durch die Ausbildung von **Fruchtkörpern**: Man findet entweder schon von vornherein das Archicarp und Antheridium in einem Hyphengeflecht eingebettet oder aber es sprossen erst nachträglich aus den Mycelhyphen, welche die Sexualorgane tragen oder in ihrer Nähe liegen, Hyphenzweige hervor, die sich reichlich verzweigen und verflechten. Es ist infolgedessen stets der ganze ascusbildende Apparat in einem aus Hyphengeflecht oder auch aus Pseudoparenchym aufgebauten Körper eingebettet, den man **Fruchtkörper** nennt. Je nach seiner Form und je nach der Richtung, in welcher sich die ascogenen Hyphen in ihm verbreiten, ist schließlich auch die Lage der Asci eine verschiedene: bald finden wir sie im Innern (**angiocarpe** Fruchtkörper), bald an der Oberfläche (**gymnocarpe** Fruchtkörper), bald regellos, bald pallisadenförmig nebeneinanderstehend eine mehr oder weniger ausgedehnte Schicht bildend, die man **Hymenium** nennt. In letzterem Falle liegen oft die Asci zwischen dünneren Hyphenenden, den sogenannten **Paraphysen**. — Nur bei den Exoasceen fehlen Fruchtkörperbildungen vollständig und bei den Laboulbeniaceen entstehen sie in anderer als der angegebenen Weise (s. S. 910).

Fassen wir den Entwickelungsgang der typischen Ascomyceten nochmals kurz zusammen, so erhalten wir das folgende Schema, in welchem zugleich die Auffassung zum Ausdrucke kommt, daß der Abschnitt, der mit der Bildung der Kernpaare beginnt, dem Sporophyten und der Abschnitt, welcher mit der Reduktionsteilung des Kernes beginnt, dem Gametophyten der höheren Pflanzen entspricht:

Ascospore → {Mycel mit Conidienbildungen} → Sexualzellen → (Fruchtkörper)

Gametophyt

ascogene Hyphen → Asci

Sporophyt.

Der Unterschied gegenüber den Protascineen besteht also darin, daß der dem Sporophyten entsprechende Abschnitt infolge der Entwickelung von ascogenen Hyphen weit mehr ausgebildet ist. Freilich gibt es auch Uebergänge, indem oft die ascogenen Hyphen sehr wenig oder kaum entwickelt sind (manche Erysiphaceen, Laboulbeniaceen). —

Digitized by Google

Dieser Entwicklungsgang der typischen Ascomyceten weist aber auch große Aehnlichkeit mit demjenigen der Florideen auf, denn die ascogenen Hyphen können mit den sporogenen Fäden in Parallele gesetzt werden, die bei diesen Algen nach der Befruchtung aus dem Carpogon hervorgehen. Nur sind die aus den sporogenen Fäden hervorgehenden Carposporen im Gegensatz zu den Ascosporen diploid.

Es bestehen somit bei den typischen Ascomyceten sowohl Beziehungen zu den Protascineen und durch diese zu den Phykomyceten, als auch zu den Florideen. Ob diese Beziehungen aber auf eine nähere phylogenetische Verwandtschaft zurückzuführen sind, muß dahingestellt bleiben: namentlich zu den Florideen dürften die Ascomyceten eher eine Parallelgruppe als eine von ihnen abzuleitende Reihe darstellen.

Lebensweise der typischen Ascomyceten. Wir finden unter diesen Pilzen sowohl Saprophyten auf allen möglichen Substraten als auch Parasiten auf Pflanzen (vgl. auch den Artikel „Pflanzenkrankheiten") und auf Tieren. Viele leben in Symbiose mit Algen: es sind das die Flechtenpilze, welche ihrer größten Mehrzahl nach zu den Ascomyceten gehören. Diese zeigen aber so viele Eigentümlichkeiten, daß man sie für die Darstellung gewöhnlich aus den Pilzen ausscheidet und für sich behandelt (s. den Artikel „Symbiose").

1. Plectascineen. Die Fruchtkörper bestehen hier aus einem Hyphengeflecht, in welchem die rundlich gestalteten Asci in großer Zahl ganz regellos eingebettet sind. Dies rührt davon her, daß die ascogenen Hyphen sich im Fruchtkörper nach allen Richtungen hin ganz regellos verästeln. Dieses ascusführende Hyphengeflecht wird außen von einer Hülle umschlossen, die man Peridie nennt. Bei der Reife des Fruchtkörpers wird das ascusführende Hyphengeflecht desorganisiert und meist zerfällt die Peridie unregelmäßig.

a) Gymnoascaceen. Meistens unscheinbare saprophytische Pilze, deren Fruchtkörper ein mehr oder weniger lockeres Hyphengeflecht darstellt, in dessen Innerem die rundlichen Asci eingebettet liegen, während die peripherischen Teile eine lockere Peridie bilden, aus der oft charakteristisch gestaltete Hyphenzweige nach außen vortreten (Fig. 39). In einzelnen Fällen ist nachgewiesen, daß der Anlage des Fruchtkörpers die Bildung eines Antheridiums und eines Archicarps vorangeht; bei G. Reessii sind diese Organe zwei sich gegenseitig schraubig umwickelnde Seitenzweige einer Hyphe, die dann an ihrer Spitze in offene Verbindung treten.

b) Aspergillaceen. Die Fruchtkörper sind hier kompakte, sehr kleine, kugelige oder knöllchenförmige Gebilde mit meist scharf abgegrenzter Peridie. Sehr häufig kommen auch Conidienbildungen vor. Wir greifen aus den zahlreichen hierher gehörenden Gattungen einige der wichtigsten heraus. Aspergillus (Fig. 40) bildet an seinem Mycel sehr charakteristisch gestaltete Conidienträger (Fig. 40A): es sind aufrechte Mycelzweige, welche an ihrem Scheitel blasig anschwellen und hier nach allen Seiten hin kurze, mitunter verzweigte Zweige (Sterigmen) ausstrahlen lassen, auf denen in langen Ketten die Conidien abgeschnürt werden. Sie bilden auf ihrem Substrate oft ausgedehnte Rasen, die je nach den Arten grau-, blau- oder gelbgrüne, seltener weiße, gelbe, rötliche, braune, schwarzbraune Farbe haben. Die Fruchtkörper hat man noch nicht bei allen Arten beobachtet. Da, wo man ihre Entwickelung kennt, beginnt sie mit der Anlage eines schraubenförmigen Archicarps, an das sich als kleiner Zweig ein Antheridium anlegen kann, welches aber funktionslos zu sein scheint (Fig. 40B). Dann entstehen Hüllzweige (Fig. 40C), die sich später zur Peridie zusammenschließen (Fig. 40D), während aus dem Archicarp ascogene Hyphen hervorsprossen (Fig. 40E). Der reife Fruchtkörper ist ungefähr kugelig, die Peridie pseudoparenchymatisch und einschichtig oder aus verflochtenen Hyphen gebildet, im Innern liegen zahlreich die regellos gelagerten Asci (Fig. 40F). Diese sind rundlich und enthalten 8 Sporen (Fig. 40H). Eine der verbreitetsten Arten ist Aspergillus herbariorum, der als Schimmel besonders auf pflanzlichen Substraten auftritt. A. fumigatus und andere Arten treten bei Otomykosen des Menschen auf und können bei Injektion in die Blutbahn von Warmblütern in deren Nieren und anderen Organen ihr Mycel zur Ausbildung bringen. Doch verlaufen diese Mykosen unter anderen Symptomen als die von Mucor hervorgerufenen. Gut untersucht sind die sehr mannigfaltigen chemischen Wirkungen der Aspergillen auf ihre Substrate. — Penicillium besitzt pinselähnliche Conidienträger, welche mehrmals hintereinander in parallele oder wenig divergierende Zweige geteilt sind, an deren Enden Conidienketten entstehen (Fig. 41.) P. crustaceum, eine der gemeinsten Schimmelarten, mit blaugrünen Conidienrasen,

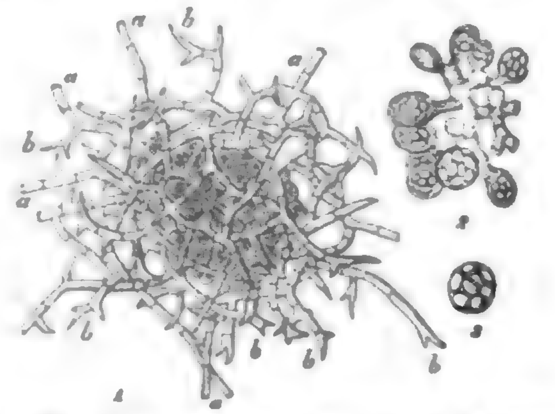


Fig. 39. Gymnoascus Reessii. 1 ein kleiner Fruchtkörper, a Mycelhyphen, b lockere Peridie, welche das ascusführende Geflecht umhüllt, 2 eine Gruppe von Asci, 3 reifer Ascus. Nach Brefeld und Baranetzki.

Digitized by Google

besitzt kleine knöllchenförmige Fruchtkörper mit mehrschichtig pseudoparenchymatischer Peridie, die vor der Entstehung der Asci eine Ruhezeit durchmachen. Dieser Pilz ist einer der wichtigsten Fäulniserreger des Obstes, während P. italicum und olivaceum Fäulniserscheinungen auf Orangen und Zitronen bewirken. — Zu den Aspergillaceen gehört

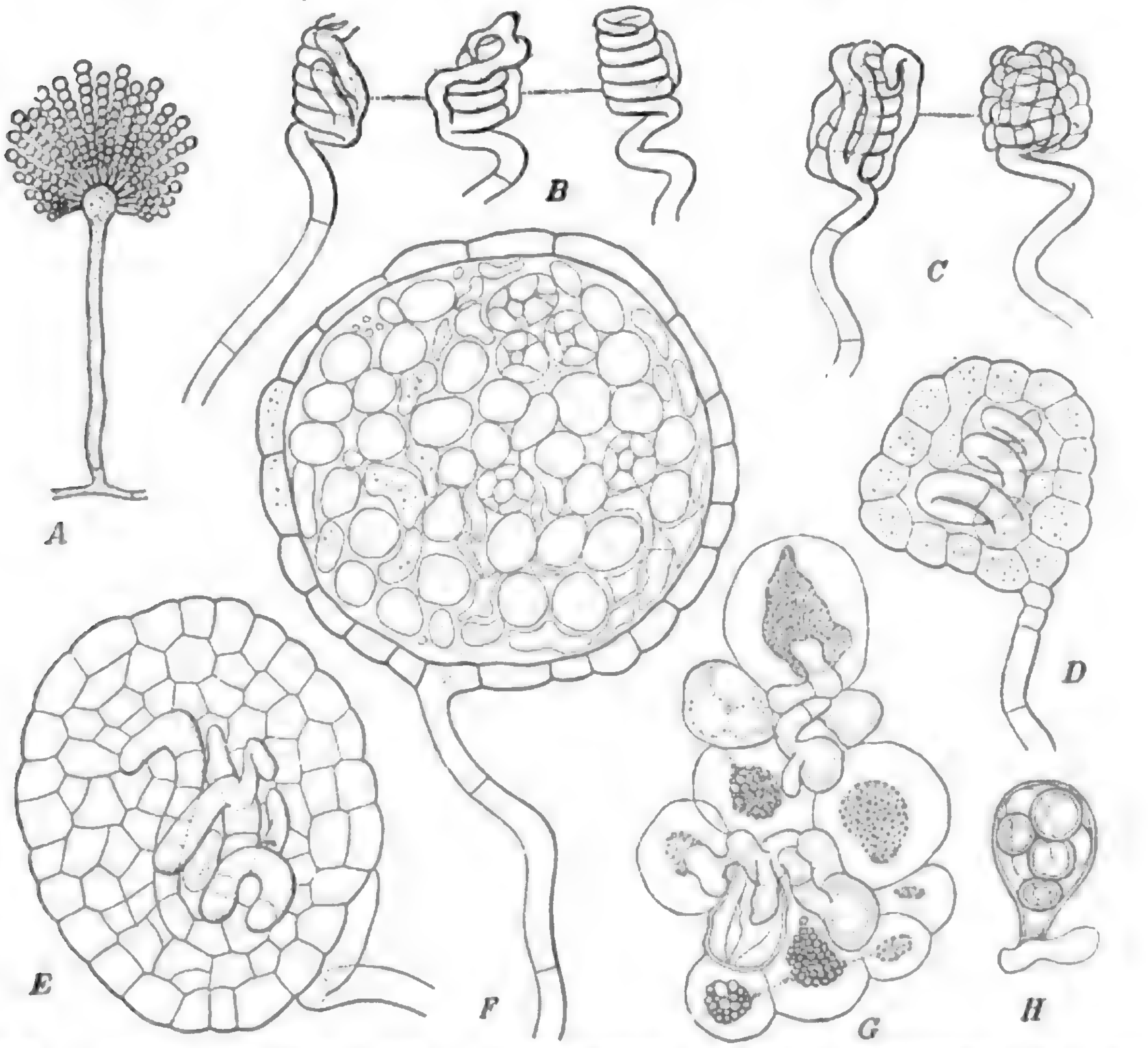


Fig. 40. Aspergillus herbariorum. A Conidienträger, B bis F Entwickelung der Ascusfrucht, G Gruppe von jungen Asci, H reifer Ascus. A nach Kny, die übrigen nach de Bary.

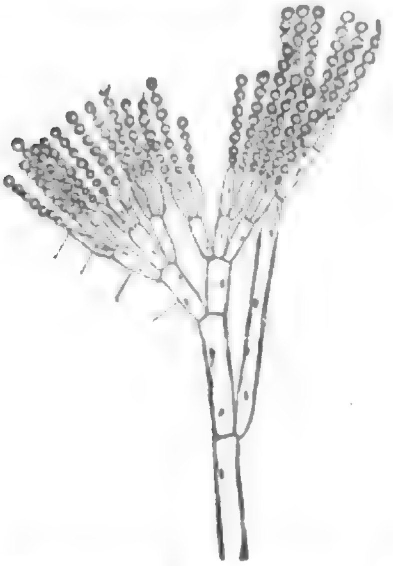


Fig. 41. Penicillium crustaceum. Conidienträger. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

nach neueren Untersuchungen auch die Gattung Monascus, deren reifer Fruchtkörper nach Zerfall der Asci früher für ein von einer Hyphenhülle umgebenes Sporangium angesehen wurde. — Den Uebergang zu den folgenden Familien vermittelt Penicilliopsis; hier erreichen die knöllchenförmigen Fruchtkörper etwas größere Dimensionen als die der übrigen Aspergillaceen und sind in ihrem Inneren nicht gleichförmig von den Asci erfüllt; man kann vielmehr verschiedene ascusführende Geflechtspartien unterscheiden, zwischen denen Adern von ascusfreiem sterilem Hyphengeflecht verlaufen.

c) Onygenaceen. Onygena, der Hauptvertreter dieser Gruppe, lebt auf Horn (Hufe, Hörner, Federn) und bildet hier kleine, meist gestielte köpfchenförmige Fruchtkörper, deren ascusführendes Geflecht in der Reife in eine pulverige Sporenmasse zerfällt.

d) Trichocomaceen. Die einzige Gattung ist die in den Tropen lebende Trichocoma. Ihre

Fruchtkörper öffnen sich in der Reife becherartig und es tritt aus ihnen ein Schopf von langen, derben Hyphen hervor, zwischen denen die reifen Sporen in die Höhe gehoben werden. Zu gleicher Zeit sind aber am Grunde des Fruchtkörpers noch jugendliche Asci anzutreffen.

e) Elaphomycetaceen. Diese Familie umfaßt ebenfalls nur eine Gattung, nämlich Elaphomyces. Bei diesem Pilze werden die Fruchtkörper unterirdisch ausgebildet; sie sind erbsen- bis hühnereigroß. Ihre Peridie ist oft von warziger harter Rinde überzogen. Das ascusführende Geflecht wird von radial verlaufenden sterilen Adern durchsetzt; bei der Reife zerfällt es in ein sehr dunkel gefärbtes Sporenpulver. Die in Mitteleuropa verbreitetste Art ist E. cervinus, die Hirschtrüffel.

f) Terfeziaceen. Auch hier handelt es sich um trüffelartige unterirdische Pilze. Ihre oft recht großen Fruchtkörper unterscheiden sich von denen der Elaphomycetaceen durch ihre mehr fleischige Beschaffenheit und die viel weniger scharf abgegrenzte Peridie. Das ascusführende Fruchtkörperinnere wird von netzig verlaufenden sterilen Adern durchsetzt und zerfällt in der Reife nicht zu einer pulverigen Masse. Die wichtigste Gattung ist Terfezia, von der verschiedene Arten namentlich im Mittelmeergebiet und in Vorderasien vorkommen. Mehrere derselben werden als Nahrungsmittel verwendet (Terfez, Kamés).

2. Perisporineen. Im Gegensatz zu den Plectascineen sind in dieser Gruppe die Asci nicht mehr ganz regellos im Innern des Fruchtkörpers eingebettet, sondern sie sind am Grunde desselben büschelig gruppiert und haben gewöhnlich eine längliche Gestalt. Meistens sind die Fruchtkörper sehr klein. Ihre Peridie ist in der Regel dünn und bleibt bei der Reife geschlossen oder zerfällt unregelmäßig; nur bei den Microthyriaceen bildet sich am Scheitel eine Oeffnung. — Manche Mykologen vereinigen die Perisporiaceen mit den Pyrenomyceten. Am besten bekannt ist die Familie der Erysiphaceen.

a) Erysiphaceen oder Erysibaceen (Mehltaupilze). Es handelt sich hier um Parasiten, welche auf höheren Pflanzen leben. Sie entwickeln ihr Mycel auf der Oberfläche der befallenen Pflanzen, meist in Form eines weißen, spinngewebeartigen Ueberzuges. Die Nahrungsaufnahme erfolgt durch Bildung von Haustorien, die in Form von dünnen Fortsätzen in die Epidermis, mitunter auch bis in tiefer liegende Zellen der Wirtspflanze vordringen und hier in einer kopfigen, keuligen oder gelappten Anschwellung (Fig. 42 B in h) endigen. Etwas abweichend verhält sich die Gattung Phyllactinia: hier dringen ganze Mycelzweige durch die Spaltöffnungen in die Intercellularräume ein und entsenden erst von da Haustorien in die umgebenden Zellen. Die ungeschlechtliche Fortpflanzung erfolgt durch eine oidienartige Conidienbildung (Fig. 42 A): vom Mycel erheben sich aufrechte, unverästelte Zweige über die Blattfläche, die Zellen derselben runden sich dann von der Spitze gegen die Basis fortschreitend ab und trennen sich zuletzt als Conidien voneinander. Früher, als man die Zugehörigkeit dieser Conidienform zu den Erysiphaceen noch nicht festgestellt hatte, hielt man sie für eine besondere Pilzgattung und nannte sie Oidium, eine Bezeichnung, die

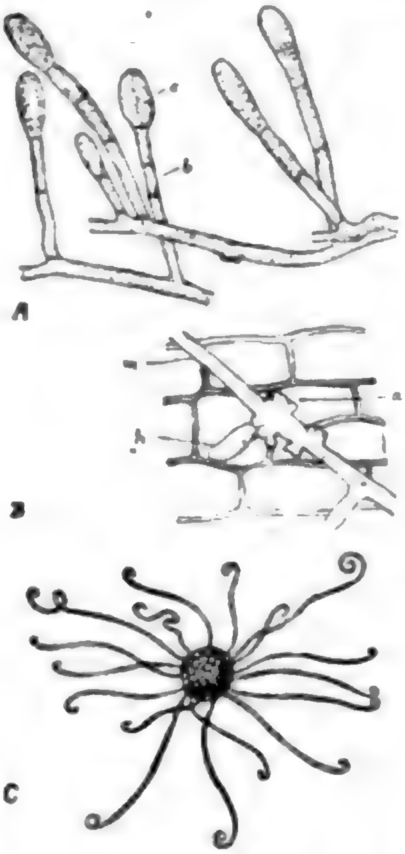


Fig. 42. Uncinula necator. A Conidienbildung, B Mycelfaden mit Haustorium, von der Epidermisfläche gesehen. C Perithecium mit Anhängseln. Nach Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten.

man auch jetzt noch für alle Erysiphaceen anwendet, deren Fruchtkörper noch nicht bekannt sind. Die Entstehung der Fruchtkörper beginnt mit der Anlage von Sexualorganen (Fig. 43): das Archicarp (og) ist ein blasig angeschwollener Zweig einer Mycelhyphe, der sich durch eine

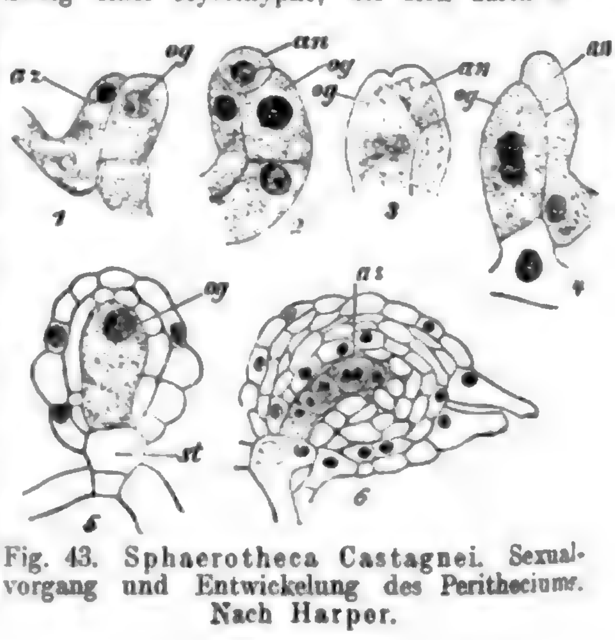


Fig. 43. Sphaerotheca Castagnei. Sexualvorgang und Entwickelung des Peritheciums. Nach Harper.

gitized by Google

Querwand abgrenzt und nur einen einzigen Zellkern enthält (Fig. 43, 1, 2). Das Antheridium (an) bildet die ebenfalls einkernige Endzelle eines dünneren Zweiges, der sich an das Archicarp anlegt. Nach dem Eintritt des Antheridiumkerns (Fig. 43, 3, 4) wächst das Archicarp zu einer einzigen (Fig. 43, 6) oder zu mehreren kurzen ascogenen Hyphen aus, deren vorletzte Zelle (as) zum Ascus wird. Während dieser Vorgänge werden die Sexualorgane von Hyphenzweigen umwachsen (Fig. 43, 5, 6), aus denen später die Peridie entsteht. Die reifen Fruchtkörper (man nennt sie hier wie bei den Pyrenomyceten auch Perithecien) erscheinen dem bloßen Auge als winzig kleine, erst gelbliche dann schwarze Punkte auf dem weißen Mycel. Sie enthalten bei Sphaerotheca und Podosphaera nur einen einzigen, annähernd kugeligen Ascus, bei den übrigen Gattungen finden wir mehrere büschelig gruppierte, länglich gestaltete. Die Sporen liegen zu 2 bis 8 im Ascus, sie sind ellipsoidisch und glatt. Die Wandung des Peritheciums ist meist dünnhäutig und dunkel gefärbt. Sehr charakteristisch sind die bei den meisten Erysiphaceen von der Wandung abgehenden strahligen Anhängsel (Fig. 42C), die von Gattung zu Gattung verschieden gestaltet sind: bei Phyllactinia sind sie borstenförmig und am Grunde blasig angeschwollen, bei Uncinula sind sie an ihrem Ende spiralig eingerollt, bei Microsphaera sind sie gabelästig verzweigt, bei Erysiphe unregelmäßig gebogen.

b) Perisporiaceen. Die Vertreter dieser Familie besitzen da, wo sie auf der Oberfläche von Pflanzenteilen auftreten, nicht ein weißes, sondern ein dunkelgefärbtes Mycel. Dieses stellt auf Blättern usw. oft schwarze Ueberzüge dar, die unter dem Namen „Rußtau" bekannt sind. Die Conidienbildungen treten meist als Coremien oder in Pykniden auf. Meist fehlen auch den Fruchtkörpern die Anhängsel. Zu den verbreitetsten Formen gehören Vertreter der Gattung Apiosporium (Fumago). Sehr zahlreiche, fast ausschließlich tropische Arten umfaßt die Gattung Meliola.

c) Microthyriaceen. Eine im ganzen wenig bekannte Gruppe. Hauptmerkmal ist die schildförmig abgeflachte Form der Fruchtkörper, die sich mit scheitelständigem Porus öffnen.

3. Pyrenomyceten. Die Fruchtkörper der Pyrenomyceten (Fig. 44) — man nennt sie Perithecien — sind kleine, kugelige bis flaschenförmige Behälter, deren Wandung aus dichtem Hyphengeflecht von oft pseudoparenchymatischem Charakter besteht. Sie umschließen eine Höhlung, welche durch einen kurzen Kanal (das Ostiolum) am Scheitel nach außen mündet. Diese Ausmündungsstelle ist oft papillen- oder halsartig vorgezogen. Am Grunde der Höhlung stehen gewöhnlich in großer Zahl meist langgestreckt keulenförmige Asci (s), häufig untermischt mit Paraphysen (a). Aber auch die Seitenwände und der Mündungskanal sind mit dichtstehenden Hyphenenden, den sogenannten Periphysen (e) besetzt. Die Entleerung der Sporen erfolgt entweder durch Ausspritzen aus den Asci, wobei diese einer nach dem anderen ihre Spitze bis zur Mündung des Halskanals vorstrecken, oder

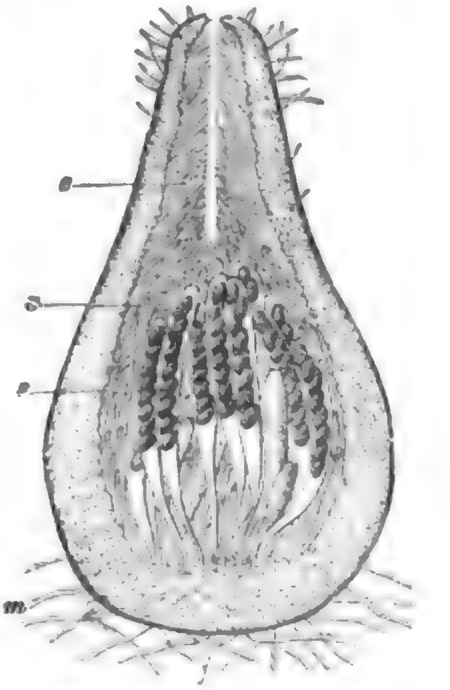


Fig. 44. Perithecium eines Pyrenomyceten. (Podospora fimiseda). Aus F. v. Tavel, Pilze.

durch Verquellung der Asci zu einer schleimigen Masse. — Die Perithecien stehen entweder einzeln, direkt auf dem Mycel (Fig. 44), oder aber es entstehen durch dichte Verflechtung der Mycelhyphen größere krusten-, polster- oder keulenförmige Körper, denen die Perithecien meist in größerer Zahl aufgesetzt oder eingesenkt sind (Fig. 45). Man spricht dann von einem zusammengesetzten Fruchtkörper oder Perithecienstroma. Bevor auf diesen Stromata die Perithecien ausgebildet werden, entstehen an denselben gewöhnlich Conidien.

a) Hypocreaceen. In dieser Gruppe vereinigt man diejenigen Pyrenomyceten, deren Perithecienwand eine weiche Beschaffenheit und meist lebhafte Farbe (rot oder gelb, seltener weiß, grün, blau, violett, braun) aufweist. Bei der Mehrzahl der Hypocreaceen treten die Perithecien auf Stromabildungen auf, für die in bezug auf Farbe und Konsistenz dasselbe gilt wie für die Fruchtkörperwand. In bezug auf ihre Formgestaltung zeigen diese Stromabildungen große Mannigfaltigkeit: bei Hypomyces, dessen Vertreter oft auf Hutpilzen parasitisch angetroffen werden, bilden sie einen bloßen Hyphenfilz dem die Perithecien eingebettet sind. Bei Nectria sind es kleine warzenförmige Vorsprünge, auf denen die Perithecien aufsitzen; am bekanntesten ist N. cinnabarina, deren Stromata aus der Rinde abgestorbener Zweige hervorbrechen und zuerst mit zinnoberroten Conidienbildungen überzogen, dann mit braunroten Perithecien besetzt sind. Das Stroma von Poly-

stigma entwickelt sich im Blattgewebe von Prunus-Arten, auf dem es sich als stark gefärbte, rote oder gelbe Flecken abhebt, aber erst nach dem Abfallen der Blätter Perithecien bildet. Bei Ascopolyporus hat es ganz die Form eines konsolenartigen Polyporus-Fruchtkörpers wachsenden weichen köpfchenförmigen Perithecienträger. — Zahlreiche Arten der Gattung Cordyceps leben auf Insekten und entwickeln ganz ähnlich wie die Entomophthoreen ihr Mycel im Innern des Tierkörpers. Aus diesem wachsen dann die reichlich verästelten, oft zu Coremien

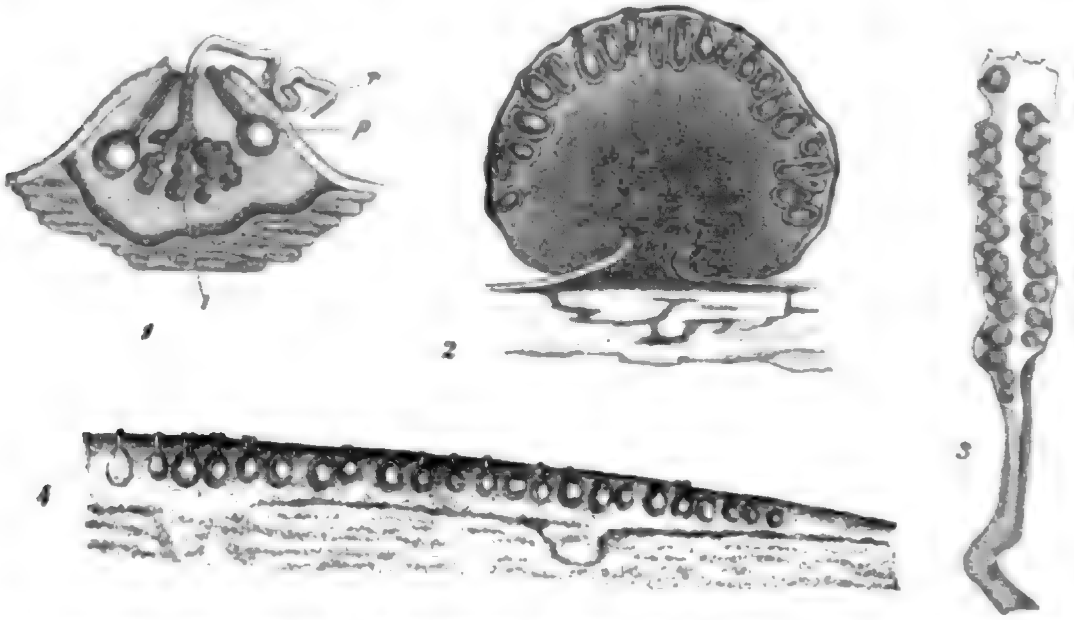


Fig. 45. Verschiedene Formen des Perithecienstroma. 1 Valsa nivea, welche neben Perithecien p im Stroma auch conidienführende Höhlungen l zeigt, aus denen die Conidien in Ranken r austreten; 2 Hypoxylon coccineum; 3 Xylaria carpophila; 4 Diatrype Stigma. Sämtlich Sphaeriaceen. Nach Tulasne.

(s. unten), der an seiner Unterseite statt der Porenschicht dicht gedrängte Perithecien trägt. In der Gattung Epichloë entwickelt es sich zwischen den Blattscheiden von Gramineen und überzieht sie mit einem muffartigen Ueberzug. Aehnlich verhält sich Balansia (Fig. 46A), nur erheben sich hier vom Stroma kleine gestielte köpfchenförmige Gebilde und diese allein enthalten Perithecien. Am kompliziertesten liegen die Verhältnisse bei Claviceps, deren wichtigste Species, Cl. purpurea, in den Aehren zahlreicher Gramineen auftritt. Der Pilz durchzieht und überzieht mit seinen Hyphen den Fruchtknoten derselben. Auf der gehirnartig gefurchten Oberfläche dieses Pilzgeflechtes bilden sich auf dichtstehenden Hyphenenden massenhafte Conidien (Fig. 46D), die in einer süßen Flüssigkeit eingebettet aus der Aehre austropfen. Dann wächst der untere Teil dieses Pilzgeflechtes (C) zu einem hornförmigen pseudoparenchymatischen, dunkelberindeten Körper heran, der weit aus der Aehre herausragt (Fig. 46B); es ist dies das bekannte Mutterkorn, Secale cornutum, der Apotheken. Dieses stellt einen Ruhezustand des Pilzes, ein Sklerotium oder, genauer gesagt, ein Dauerstroma dar. Zur Zeit der Reife der Gramineenähre fällt es zu Boden und überwintert hier. Im Frühjahr wachsen dann aus demselben langgestielte Köpfchen hervor (Fig. 46 E, F), in denen zahlreiche Perithecien eingesenkt sind (G, H). In den Asci (J) entstehen fadenförmige Sporen. Das Stroma ist also hier gegliedert in einen überwinternden sklerotienartigen Teil und die aus ihm hervorvereinigten Conidienträger (Isaria) und die oft sehr langgestielten keulen- oder köpfchenförmigen Perithecienstromata hervor.

b) Sphaeriaceen. Im Gegensatz zu den Hypocreaceen besitzen die Sphaeriaceen eine schwarze, kohlige oder lederartige Perithecienwand. Sie treten ebenfalls entweder frei auf dem Mycel oder auf einem Stroma auf. Besonders entwickelt sind diese Stromabildungen bei den Formen, die man in der Familie der Xylariaceen vereinigt; sie können hier ausgedehnte kuchenartige, scheibenförmige, halbkugelige oder auch keulenförmige Gebilde darstellen. Die Sphaeriaceen sind wohl die artenreichste Pilzgruppe. Man hat sie in zahlreiche Familien eingeteilt, auf die aber hier unmöglich im einzelnen eingegangen werden kann, es muß vielmehr hierfür auf die systematischen Spezialwerke verwiesen werden. Die meisten Formen sind Saprophyten auf Pflanzenteilen, besonders häufig auf Rinden, doch gibt es unter ihnen auch zahlreiche Parasiten, von denen manche auf Kulturpflanzen leben (s. den Artikel „Pflanzenkrankheiten").

c) Dothideaceen. In dieser vielleicht nicht natürlichen Gruppe faßt man Pyrenomyceten zusammen, welche stets ein schwarzes Stroma besitzen, in welchem die Perithecien als einfache Höhlungen eingesenkt sind, die nicht, wie bei den Sphaeriaceen, von einer scharf abgegrenzten Wand umschlossen sind. Man hat provisorisch hier auch die Myriangiaceen untergebracht, bei denen die Asci in einem pseudoparenchymatischen Fruchtkörper eingebettet sind, um

Digitized by Google

dann später durch Zerbröckelung des letzteren frei zu werden.

4. **Hysterineen.** Aehnlich wie bei den Sphaeriaceen sind hier die Fruchtkörper von einem dunklen lederigen oder kohligen Gehäuse umschlossen. Sie haben aber nicht eine rundliche Form, sondern sie erscheinen meistens auf dem Substrat mehr oder weniger langgestreckt hingezogen, oft verbogen, sogar mitunter verzweigt, und öffnen sich statt durch einen Porus durch eine Längsspalte. Daher haben sie im reifen Zustande gewöhnlich eine mehr oder weniger rinnenförmige Gestalt. Am Grunde der Rinne stehen die

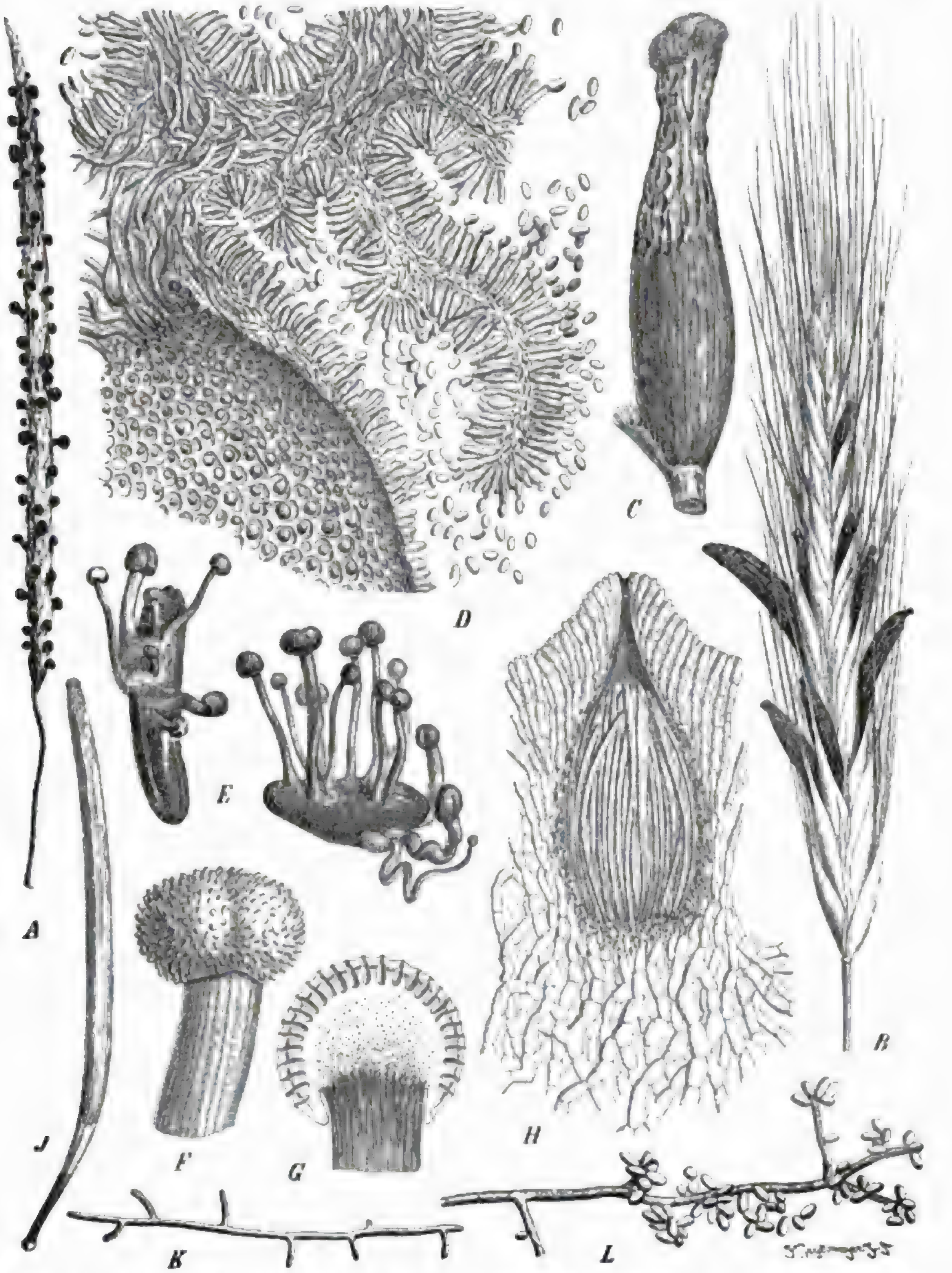


Fig. 46. A Balansia Claviceps auf einer Gramineenähre. B bis J Claviceps purpurea. Erklärung im Text, K Keimende Ascospore derselben, L Mycelzweig aus einer künstlichen Kultur, mit Conidien. Nach Lindau, Tulasne, Brefeld.

Digitized by Google

Asci. Die wichtigsten Vertreter sind die Arten von **Lophodermium**, welche die sogenannte Nadelschütte verschiedener Coniferen bedingen.

5. Discomyceten. Die Fruchtkörper der Discomyceten werden Apothecien genannt. Bei sehr wechselnder Gestalt und Größe im einzelnen haben sie das gemeinsam, daß ihre Asci zu einem mehr oder weniger ausgedehnten Hymenium vereinigt sind, welches zur Zeit der Reife an der Fruchtkörperoberfläche liegt. Diese Lage nimmt das Hymenium in den einen Fällen von Anfang an ein; meistens dürfte es aber ursprünglich unter der Fruchtkörperoberfläche angelegt werden: man findet zunächst, von einer Deckschicht bedeckt, eine kleine Gruppe von Paraphysen (Fig. 47 A)

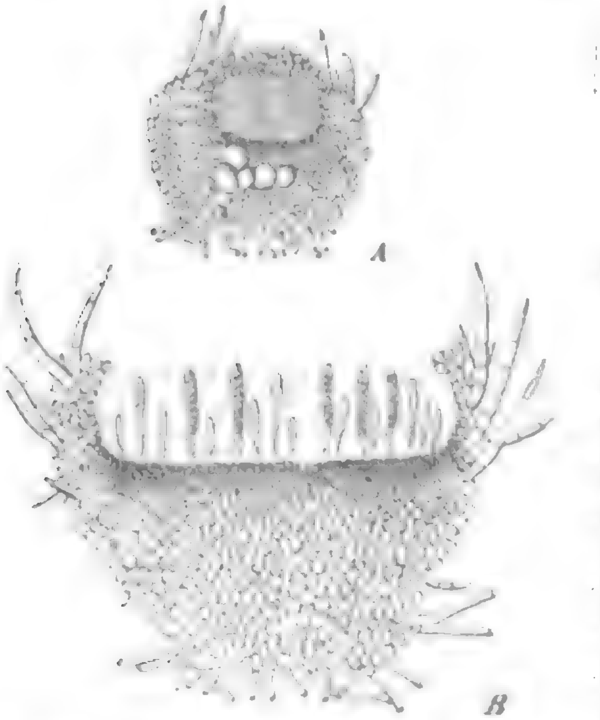


Fig. 47. **Lachnea pulcherrima** (Pezizacee). A junges, B reifes Apothecium. Nach Woronin.

die senkrecht gegen die Oberfläche gerichtet sind. Diese vermehren sich, es werden von unten her Asci zwischen sie eingeschoben; dadurch dehnt sich das junge Hymenium immer mehr aus und die bedeckende Schicht wird früher oder später zerrissen. Die Lage, welche das Hymenium schließlich einnimmt, hängt von dem weiteren Wachstum der darunter liegenden Fruchtkörperpartien ab. Breiten sich diese horizontal aus, so bleibt das Hymenium mehr oder weniger scheibenförmig (Fig. 47 B). Sie können sich aber auch in der Mitte nach oben wölben (Helvellaceen), dann überzieht das Hymenium die konvexe Außenfläche des Fruchtkörpers; bei noch anderen Formen werden sie im Gegenteil konkav, so daß der Fruchtkörper die Gestalt einer Hohlkugel annimmt, deren Innenwand vom Hymenium überzogen ist und welche sich dann meist bei der Reife becherartig öffnet (so bei vielen Pezizaceen). In bezug auf den Bau des Hymeniums (Fig. 48) ist

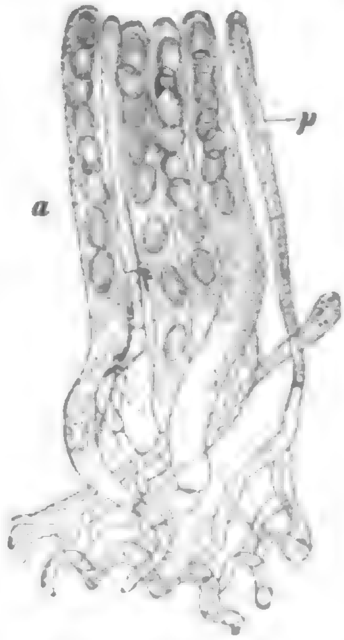


Fig. 48. **Morchella esculenta.** Asci a und Paraphysen p. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

zu bemerken, daß die Asci fast immer zylindrisch-keulenförmig gestaltet sind. Zwischen ihnen stehen meistens Paraphysen; diese ragen mitunter über die Asci hinaus, können sich hier verästeln und über dem Hymenium eine zusammenhängende Decke (Epithecium) bilden. Bei den Phacidiaceen ist auch die unter dem Hymenium liegende Schicht oft in besonderer Weise ausgebildet und heißt dann Hypothecium. — Die Apothecien treten fast immer einzeln am Mycel auf. Stromabildungen sind seltene Ausnahmen.

a) **Phacidiaceen.** Es sind das meist kleine unscheinbare Pilze, die auf dürren oder lebenden Pflanzenteilen auftreten. Ihre Hymenien entstehen unter der Oberfläche des Fruchtkörpers und bleiben lange von einer festen Decke bedeckt, die dann zur Zeit der Reife lappig aufreißt. Eine der auffälligsten Formen ist **Rhytisma acerinum**, welches auf lebenden Ahornblättern bis zentimetergroße, krustenförmige Stromabildungen entwickelt; in diesen entstehen zuerst Höhlungen mit Conidienlagern, später mäandrisch gewundene Apothecien, die im Frühjahr auf den abgefallenen dürren Blättern ihre Asci zur Reife bringen.

b) **Pezizaceen.** Die Fruchtkörper besitzen hier eine fleischige Beschaffenheit, doch können sie auch derb lederartige Konsistenz haben. Im Gegensatz zu den Phacidiaceen wird das Hymenium auch in den Fällen, wo es nicht oberflächlich entsteht, frühzeitig bloßgelegt; sehr oft nimmt der Fruchtkörper im Laufe seiner Entwickelung eine hohlkugelige Gestalt an und öffnet sich erst bei der Reife zu einem krug-, becher- oder schei-

igitized by Google

benförmigen Gebilde. Aus dieser sehr arten- und formenreichen Gruppe können hier nur wenige Vertreter herausgegriffen werden: eine der einfachsten Formen ist Pyronema confluens, deren sexuelle Vorgänge oben beschrieben wurden. Hier ist das Hymenium von Anfang an freiliegend und bleibt stets ausgebreitet. Die Vertreter der artenreichen Gattung Peziza und deren nächste Verwandte besitzen fleischige, oft sehr große, sitzende oder gestielte, erst hohlkugelige, dann becherartig geöffnete Apothecien (Fig. 49). Bei Hydnocystis, deren Fruchtkörper

Fig. 49. Fruchtkörper von Peziza aurantiaca. Natürliche Größe. Nach Krombholz.

körper unterirdisch sind, bleiben diese dauernd geschlossen, ebenso bei Geopora, wo sie überdies durch starke Einfaltungen ihrer Wandung im Innern eine kompliziert labyrinthische Beschaffenheit annehmen (Fig. 50). In biologischer

Fig. 50. Geopora Cooperi. Längsdurchschnittener Fruchtkörper, 2mal vergrößert. Nach Ed. Fischer.

Hinsicht ist besonders die parasitische Gattung Sclerotinia interessant: Scl. Urnula bildet in den Früchten von Vaccinium Vitis Idaea (Preißelbeere) hohlkugelige Sklerotien aus. Diese „mumifizierten" Früchte (Fig. 51a, b) fallen dann im Herbst zu Boden und im Frühjahr wachsen aus ihnen langgestielte becherförmige Apothecien hervor (Fig. 51c). Um diese Zeit haben auch die Preißelbeerpflanzen frische Triebe gebildet. Wenn nun die Ascosporen auf diese ausgeworfen werden, so dringen sie mit ihren Keimschläuchen ein, es entsteht ein Mycel, das schließlich an der Oberfläche in langen Ketten oidienartige Conidien (Monilia) bildet (Fig. 52). Diese locken durch mandelartigen Geruch Insekten an, welche dann die Conidien auf die Narben der Preißelbeerblüten übertragen. Daselbst gelangen diese Sporen zur Keimung und ihre Keimschläuche wachsen geradeso, wie es sonst die Pollenschläuche zu tun pflegen, durch den Griffel in den Fruchtknoten herunter und bilden hier aufs neue Sklerotien. Scl. heteroica entwickelt ihre Sklerotien in den Früchten von Ledum palustre, während die Conidien auf Vaccinium uliginosum zur Ausbildung kommen, es findet also hier ein Wirtwechsel statt. Noch andere siedeln sich mit ihren Sklerotien in den Früchten von Alnus, auf Aepfeln und Kirschen, in jungen Quitten, oder auch in den Stengeln verschiedener Pflanzen an. Zu einer dieser Arten gehört wahrscheinlich als Conidienform Botrytis cinerea, ein grauer Schimmel, der sehr häufig Früchte und andere Pflanzenteile zum Faulen bringt.

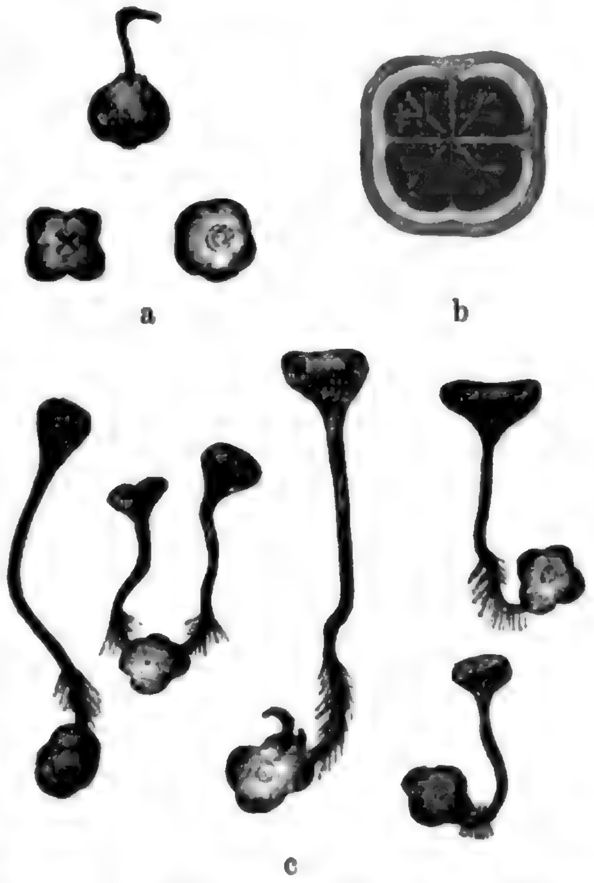


Fig. 51. Sclerotinia Urnula. a Sclerotien führende Früchte der Preißelbeere ungefähr in natürlicher Größe, b Durchschnitt durch eine solche. Vergrößert, c Sklerotien mit Apothecien. Nach Woronin.

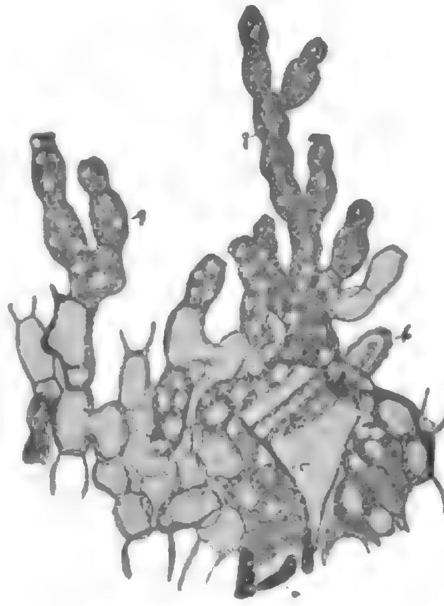


Fig. 52. Sclerotinia Urnula. Conidienketten g auf den Preißelbeerblättern. Nach Woronin.

c) Helvellaceen. Das Hymenium überzieht hier bei den reifen Fruchtkörpern die freie Außenfläche. Diese Fruchtkörper bilden bei Rhizina ausgebreitete, später nach oben gewölbte Krusten, die mit wurzelartigen Hyphensträngen auf ihrer Unterlage befestigt sind und auf ihrer ganzen Oberseite von Hymenium überzogen werden. Sphaerosoma hat kleine knollenförmige, oft tief gefurchte oder schüsselförmig vertiefte Fruchtkörper, die mit Ausnahme ihrer basalen Anheftungsstelle über und über von den palisadenförmig gestellten Asci überkleidet sind. Die meisten Helvellaceen aber besitzen aufrechte Fruchtkörper von relativ großen Dimensionen, die einen Stiel und einen erweiterten hymeniumtragenden oberen Teil unterscheiden lassen: zu diesen gehört Gyromitra esculenta, die Lorchel, mit hohlem und in seinem oberen, fertilen Teil gewunden faltigem fleischigem Fruchtkörper; dieselbe findet als Speisepilz Verwendung, darf aber erst gegessen werden, nachdem man sie gekocht und das Wasser abgegossen hat; sie enthält nämlich in frischem Zustande die giftige, aber wasserlösliche Helvellasäure. Bei Morchella ist der obere Teil des Fruchtkörpers eiförmig oder hutförmig (Fig. 53), außen mit stark vorspringenden, von oben nach unten verlaufenden oder netzig verbundenen Leisten besetzt. Als Speisepilze (Morcheln) sind namentlich M. esculenta und M. conica wichtig. Bei Helvella endlich finden wir einen eigentümlich sattelförmigen oder 2- bis 3spitzigen hymeniumbedeckten Oberteil.

6. Tuberineen. Denkt man sich bei einem knollenförmigen Fruchtkörper von Sphaerosoma an Stelle bloßer Furchen tiefe Kanäle, die in das Innere eindringen, oder stellt man sich ein jugendliches Peziza-Apothecium vor, dessen Höhlung durch zahlreiche radial gegen die Mündung konvergierende Scheidewände gefächert ist, so erhält man im wesentlichen das Bild der Tuberineenfruchtkörper. Es stellen diese unterirdische knollenförmige Gebilde dar, bei denen das Hymenium ins Innere verlegt ist, indem es Kanäle oder Hohlräume austapeziert, die entweder an mehreren Punkten an die Oberfläche austreten oder gegen eine einzige Ausmündungsstelle hin konvergieren. Die freie Außenfläche dagegen trägt niemals Asci, sondern ist von einer hellen oder dunklen Rinde überkleidet. — Aus den sehr zahlreichen und mannigfaltigen Formen seien nur einige wenige herausgegriffen. Am einfachsten und klarsten tritt uns das Gesagte entgegen be Hydnotrya, einem kleinen knollenförmigen Pilze, dessen Oberfläche mehr oder

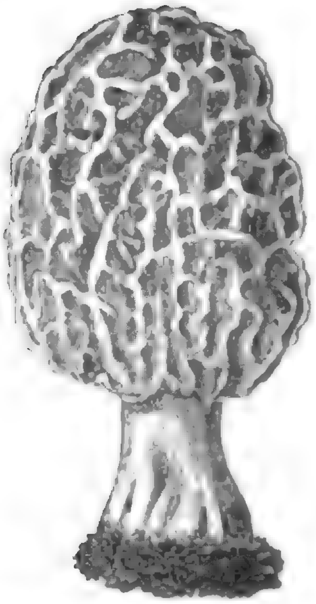


Fig. 53. Fruchtkörper von Morchella esculenta. $^4/_5$ natürlicher Größe. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

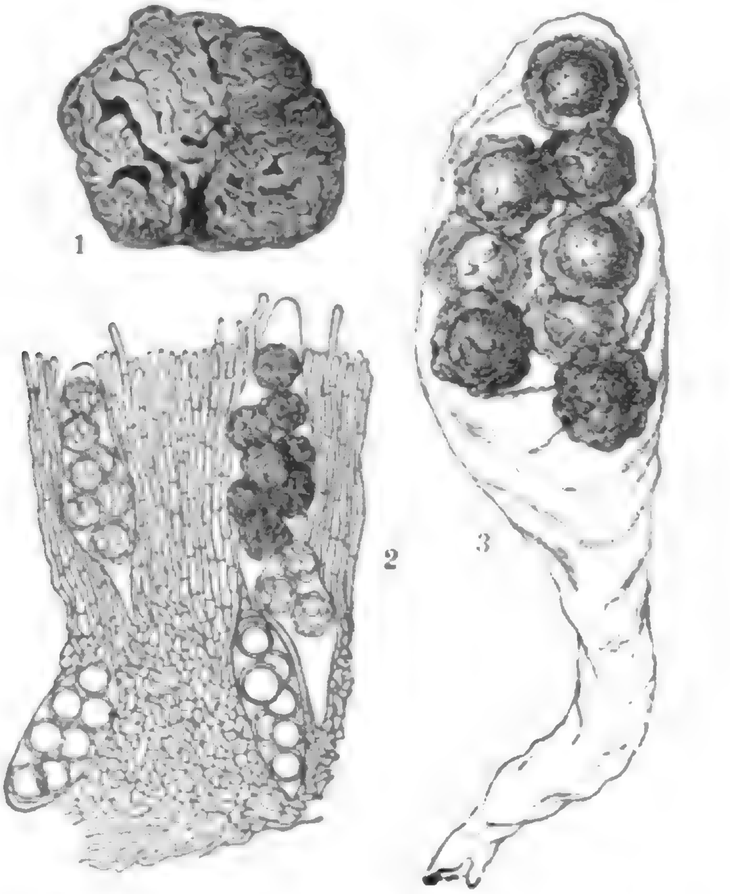


Fig. 54. Hydnotrya Tulasnei. 1 Längsdurchschnitt eines Fruchtkörpers, $^2/_3$ natürlicher Größe; 2 Hymenium. Nach Ed. Fischer. 3 Ascus. Nach Tulasne.

weniger tiefe Falten aufweist. Das Innere ist von labyrinthisch gewundenen, bald engeren bald weiteren Gängen durchsetzt, von denen ein Teil gewöhnlich am Grunde der Falten an der Oberfläche ausmünden (Fig. 54, 1). Mitunter konvergieren sie auch deutlich gegen einen Punkt. Diese Gänge sind nun von einem Hymenium ausgekleidet, das aus Paraphysen und keulenförmigen Asci mit kugeligen, grobwarzigen, rotbraunen Sporen besteht (Fig. 54, 2, 3). Zuweilen liegen noch weitere Asci in dem Geflecht unter dem Hymenium (Fig. 54, 3). — Auch bei Balsamia finden wir im Fruchtkörperinnern zahlreiche Kammern; nur sind die anfänglich vorhandenen Ausmündungsstellen derselben bei den reifen Furchtkörpern meist nicht mehr zu sehen. Das Hymenium ist hier weniger deutlich palisadenförmig, da die Asci eine etwas ungleichartige rundliche Form haben und zwischen den Paraphysen in ungleicher Höhe liegen. — Weitere Modifikationen zeigt Tuber: hier sind die Gänge von einem lockeren Hyphengeflecht ausgefüllt. Der Fruchtkörper ist daher nicht mehr von offenen Kanälen, sondern von weißen aderartigen Hyphenzügen durchsetzt, die man Venae externae nennt. Bei den einen Arten (z. B. Tuber rufum Fig. 55, 1) konvergieren sie nach der Fruchtkörperbasis, während sie z. B. bei den bekannten Speisetrüffeln, Tuber brumale (dessen Varietät melanosporum die sogenannte Perigordtrüffel ist) und T. aestivum, an zahlreichen Stellen der Oberfläche münden. Eine weitere Eigentümlichkeit von Tuber besteht darin, daß das Hymenium seinen palisadenartigen Charakter ganz aufgibt: es besteht aus rundlichen Asci, die ganz unregelmäßig im Hyphengeflecht rings um die Venae externae eingebettet sind (Fig. 55, 2, h). Es erinnert infolgedessen Tuber in seinem Aufbau sehr an die Plectascineen und speziell an die Terfeziaceen und wurde auch lange Zeit hindurch mit ihnen in eine Gruppe vereinigt. Daß aber ihr Anschluß nicht dort, sondern bei den Discomyceten zu suchen ist, geht aus der Untersuchung jugendlicher Fruchtkörper hervor, bei denen diese Venae externae als einfache Oberflächenfalten angelegt werden. — Noch abweichender vom Discomycetentypus erscheint Choiromyces, in dessen kompaktem Fruchtkörper keine Venae externae sichtbar sind, sondern in einem gleichmäßigen Geflechte mäandrisch gekrümmte Hymenien aus palisadenförmig gestellten zylindrischen Asci eingebettet liegen.

7. **Exoasceen.** Es sind dies parasitische fruchtkörperlose Ascomyceten, bezüglich deren man darüber streiten kann, ob ihre einfache Beschaffenheit als primitiver Charakter oder als Rückbildung aufzufassen ist. Daher ist auch ihre Stellung zweifelhaft. — Als Beispiel wählen wir Taphrina Pruni; ihr Mycelium lebt in den Zweigen des Zwetschenbaumes und wächst zur Blütezeit desselben

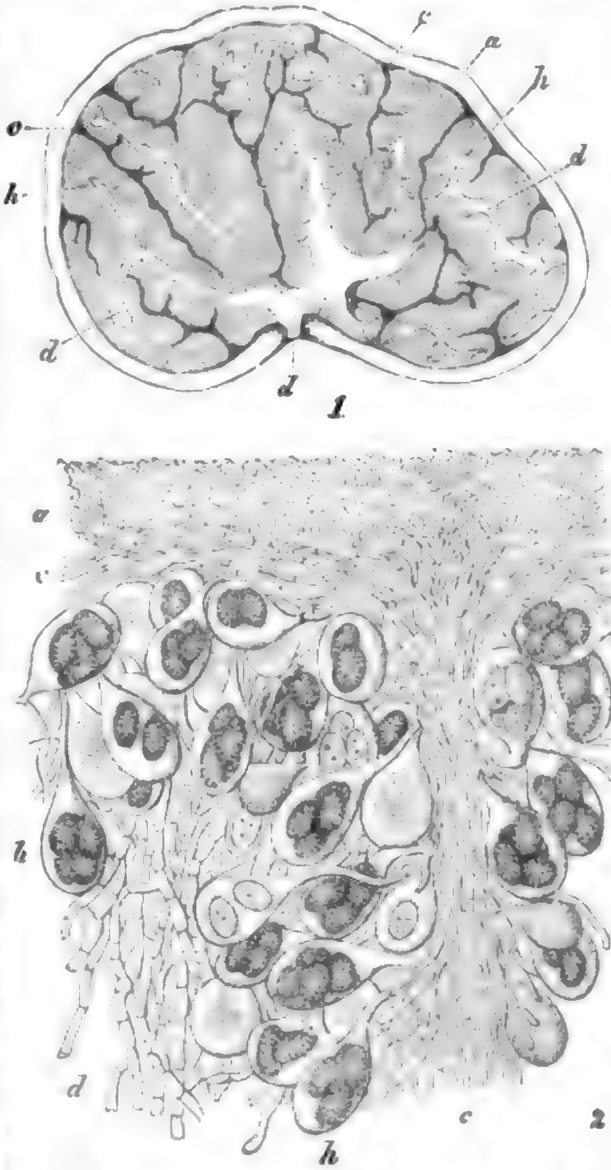


Fig. 55. Tuber rufum. 1 Fruchtkörper im Längsschnitt. Vergrößert. 2 Partie aus dem Fruchtkörperinnern. Stärker vergrößert. h Hymenium, d Venae externae, e Gewebepartien, denen das Hymenium aufsitzt, a Rinde. Nach Tulasne.

in seine jungen Fruchtknoten hinein. Unter seinem Einfluß erfahren letztere eine ganz abnorme Entwickelung: statt einen Steinkern und eine äußere fleischige Schicht auszubilden, bekommt die Fruchtwand eine wachsartig lederige Beschaffenheit und die ganze Frucht stellt ein verkrümmtes, abgeplattetes, hohles und natürlich auch ungenießbares Gebilde dar, welches man „Narren", „Taschen", „Hungerzwetschen" nennt. In diesem Gebilde tritt das Mycel an die Oberfläche und verzweigt sich zwischen Epidermis und Cuticula sehr reichlich, so daß zuletzt die ganze Frucht von stark verästelten kurzzelligen Hyphen überzogen ist.

Die einzelnen Zellen dieser Hyphen schwellen dann stark an, runden sich ab und strecken sich senkrecht zur Epidermisoberfläche. Schließlich wird ihr basaler Teil durch eine Querwand als Stielzelle abgegrenzt und der obere schwillt an und wird zu einem zylindrisch-keulenförmigen, achtsporigen Ascus. Die ganze Fruchtoberfläche ist somit jetzt von einem eigentlichen Ascushymenium bedeckt (Fig. 56). Die Sporen können

Fig. 56. **Taphrina Pruni.** Asci (a) auf der Epidermis (ep) einer Hungerzwetsche, m Mycelium, cut Cuticula. Nach Sadebeck.

sich sofort durch hefeartige Sprossung vermehren, so daß der Ascus zuletzt vielsporig erscheint (a₄). — Andere Arten, welche ebenfalls ihr Mycel in den Zweigen von Bäumen entwickeln, rufen andere Deformationen hervor: so verursacht **Taphrina Cerasi** auf dem Kirschbaum stark verästelte Zweigsysteme, sogenannte Hexenbesen, deren Blätter an der Unterseite die Asci tragen, **T. Alni incanae** bewirkt an den Fruchtzäpfchen der Erle lappige Auswüchse. Noch andere haben ein mehr nur lokal entwickeltes Mycel, so **T. aurea**, welche auf Populus-Blättern blasige Auftreibungen erzeugt, an deren konkaver Oberseite die goldgelben Ascusüberzüge sehr auffällig in die Erscheinung treten.

8. Laboulbeniaceen. Die Laboulbeniaceen sind winzig kleine Pilze, die Insekten bewohnen. Sie bilden kein Mycel, sondern ihr Körper sitzt an einem Punkte mit dem sogenannten Fuß dem Chitinpanzer außen an, und nur in seltenen Fällen entsendet er in diesen hinein Haustorien. Am eingehendsten ist die Entwickelung untersucht für den auf der Stubenfliege lebenden **Stigmatomyces Baeri**. Die Spore desselben (Fig. 57A) ist spindelförmig und durch eine Querwand in zwei Zellen geteilt; sie heftet sich mit einem Ende auf dem Insekt fest. Von ihren beiden Zellen erfährt zunächst die obere eine starke Längsstreckung und teilt sich dann (Fig. 57C) durch eine Anzahl von schrägen Wänden in mehrere übereinanderliegende Zellen, von denen jede zur Bildung eines flaschenförmigen Antheridiums (Fig. 57D, an) führt, durch dessen geöffneten Hals nackte Protoplasmaportionen als männliche Geschlechtszellen (Spermatien) ausgestoßen werden. Aus der unteren Zelle der Spore entwickelt sich (Fig. 57D, bei a) der mehrzellige weibliche

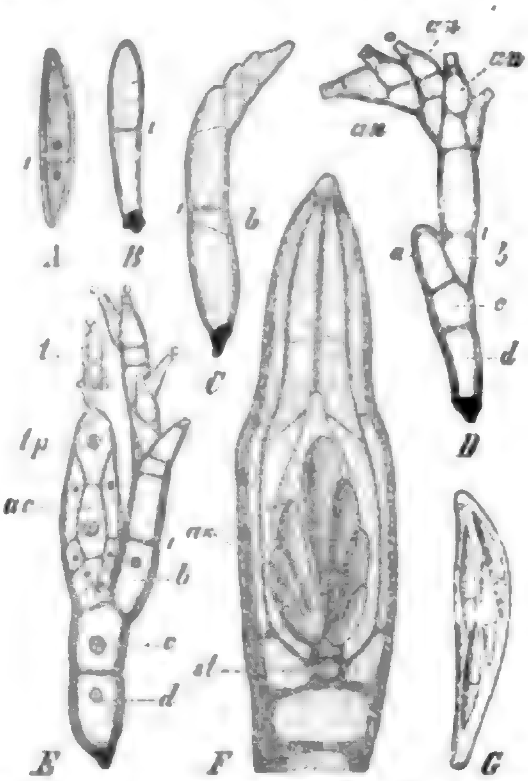


Fig. 57. **Stigmatomyces Baeri.** Entwickelung der Sporenfrucht. Erklärung im Text. Nach Thaxter.

Sexualapparat (Fig. 57E, links), der schließlich den antheridientragenden Zweig zur Seite drängt. Er besteht aus einer mehrzelligen Wandschicht und einer axilen Zellreihe, deren unterste Zelle das Carpogon (ac) darstellt; die zweite wird als trichophore Zelle (tp) bezeichnet und dieser sitzt am Scheitel das zylindrische Trichogyn (t) auf. Alle diese Zellen sind einkernig. Nun setzen sich die Spermatien am Trichogyn an und umgeben sich mit Membran. Man nimmt an, daß sie die Befruchtung vollziehen, aber direkt beobachtet ist dies nicht. — Bei einer antheridienlosen Art **Laboulbenia chaetophora**, welche genauer untersucht ist, konnte festgestellt werden, daß der Kern der Trichophorzelle sich teilt und einer seiner Tochterkerne in das Carpogon übertritt, um mit dessen Kern einen Doppelkern zu bilden. — Später verwelkt das Trichogyn, die Wand wird zweischichtig und das Carpogon erfährt mehrere Teilungen, die schließlich zur Bildung eines Büschels von Asci führen (Fig. 57F as). So entsteht schließlich ein Perithecium, das an den

Digitized by Google

Fruchtkörper der Perisporineen erinnert. Die Asci der Laboulbeniaceen enthalten wie bei anderen Ascomyceten anfänglich zwei Kerne, die dann fusionieren. In jedem Ascus entstehen 4 bis 8 Sporen von der oben erwähnten spindelförmigen Gestalt. Sind sie reif, so wird die Ascuswand resorbiert, so daß zuletzt nur noch Sporen im Fruchtkörper liegen. — Bei anderen Laboulbeniaceen zeigen sich verschiedene Abweichungen gegenüber Stigmatomyces, denn wir haben es hier mit einer äußerst formmannigfaltigen Pilzgruppe zu tun: Einmal kann der basale Teil des ganzen Pflänzchens stärker entwickelt und vielzellig sein. Sodann können die Antheridienzweige und Perithecienanlagen in größerer Zahl auftreten und von sehr auffälligen Borstenbildungen begleitet sein. Die Antheridien sind mitunter komplizierter zusammengesetzt, indem mehrere derselben einen gemeinschaftlichen Ausführungsgang besitzen. Eine wichtigere Abweichung findet man bei den sogenannten Exogenae, wo die Spermatien wie Conidien durch Abschnürung entstehen und von Anfang an membranumgeben sind. Auch das Trichogyn zeigt Verschiedenheiten, indem es in gewissen Fällen septiert ist, zuweilen erscheint es auch verzweigt oder korkzieherartig eingerollt. Endlich kann es auch vorkommen, daß Antheridien und Carpogone auf verschiedene Individuen verteilt sind.

III. Basidiomyceten.

Der Entwickelungsgang der Basidiomyceten ist wesentlich der gleiche wie derjenige der Ascomyceten und es wiederholen sich bei ihnen vielfach ähnliche Verhältnisse. Aber an Stelle des Ascus tritt hier die Basidie. Wir verstehen darunter ein Hyphenende von zylindrischer, keulenförmiger, birnförmiger oder auch kugeliger Gestalt, welches sich meist durch eine Querwand abgrenzt, aber im Gegensatz zum Ascus seine Sporen nicht im Innern, sondern durch Abschnürung bildet. Wie der Ascus so enthält auch die Basidie anfänglich ein Kernpaar („Synkaryon" s. oben S. 898, Fig. 58 A), das bald zu einem einzigen Kern mit doppelter Chromosomenzahl, einem diploiden Kern verschmilzt (Fig. 58 B). Dieser geht dann sofort in Teilung über, und zwar handelt es sich dabei, soweit die Untersuchungen reichen, um eine Reduktionsteilung, aus der also wieder Kerne mit einfacher Chromosomenzahl hervorgehen. Auf diese Teilung folgt dann eine zweite, wodurch die Basidie vierkernig wird (Fig. 58C). Seltener sind die Fälle, wo sie zwei- oder achtkernig ist. Im weiteren Verhalten lassen sich nun zwei verschiedene Typen von Basidien auseinanderhalten: die Protobasidie und die Autobasidie. Erstere (Fig. 59) teilt sich durch

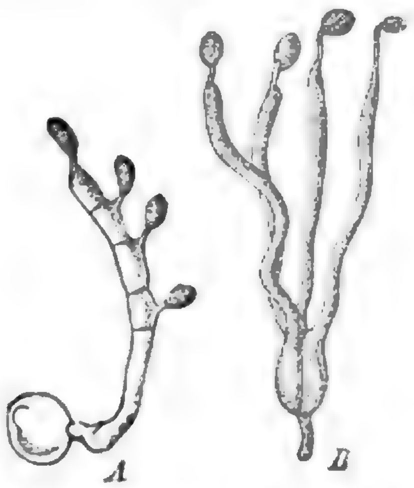


Fig. 59. Protobasidie. A einer Uredinee (Endophyllum). Nach Tulasne, B einer Tremellinee (Tremella). Nach Brefeld.

Quer- oder Längswände in meist vier über- oder nebeneinanderliegende Zellen, die je einen Kern enthalten. Jede derselben schnürt dann, meist auf einem Stielchen (Sterigma) eine Spore ab. Doch können auch an jeder Zelle mehrere Sporen entstehen, was natürlich weitere Kernteilungen voraussetzt. Die Autobasidien (Fig. 58) bleiben ungeteilt und bilden ihre Sporen meist an ihrem Scheitel in der Regel zu vier, seltener zu zwei oder mehr als vier. Die Kerne wandern aus den Basidien in die jungen Sporen ein (Fig. 58D) und können hier noch eine weitere Teilung erfahren. — Bei den Ustilagineen finden wir statt der beschriebenen Basidien das sogenannte Promycelium (s. unten).

Bei den Hypodermei gehen die Basidien oder Promycelien aus sporenartigen Gebilden (Chlamydosporen) hervor (Fig. 59A), die man bei den Ustilagineen Brandsporen, bei den Uredineen je nach Umständen Teleutosporen oder Aecidiosporen nennt. Bei den übrigen Basidiomyceten dagegen entstehen die Basidien mitunter (einfachste

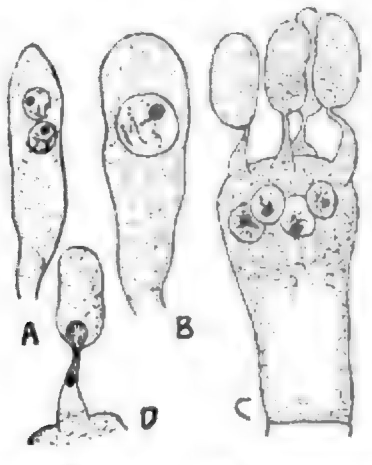


Fig. 58. Entwickelung der Autobasidie von Armillaria mellea nach Ruhland. Erklärung im Text.

Hymenomyceten, Exobasidieen) direkt am Mycel, gewöhnlich aber im Innern oder an der Oberfläche von Fruchtkörpern (angiocarpe oder gymnocarpe Fruchtkörper). Diese wiederholen oft die Formen der Ascomyceten, oft aber sind sie von diesen ganz abweichend, namentlich weisen sie vielfach eine wesentlich kompliziertere Gliederung auf. Die Basidien können in oder an diesen Fruchtkörpern verschiedenartig angeordnet sein: entweder (Plectobasidii) ganz regellos oder aber zu Hymenien vereinigt, welche bald die Wand von kammerartigen Hohlräumen (Gastromyceten), bald bestimmte Teile der Oberfläche (Hymenomyceten) überziehen.

Ueber sexuelle Vorgänge sind wir nur bei einem Teile der Ustilagineen und bei den Uredineen unterrichtet. Für die übrigen Basidiomyceten ist es dagegen gänzlich unbekannt, wo und wie das Kernpaar entsteht, das in der jungen Basidie auftritt.

Conidienbildungen kommen auch bei den Basidiomyceten vor und zwar in den gleichen Typen wie bei den Ascomyceten, immerhin scheinen sie aber hier keine so große Verbreitung zu besitzen. Für viele ihrer Vertreter sind sie nur bei Kultur in Nährlösungen beobachtet worden.

Ueber die Verwandtschaftsverhältnisse der Basidiomyceten läßt sich zurzeit kaum etwas sicheres sagen. Wie wir unten zeigen werden, lassen gewisse einfache Uredineen in ihrem Entwickelungsgange große Uebereinstimmung mit den Ascomyceten nicht verkennen. Und die Aehnlichkeit, welche die Fruchtkörper und Conidienbildungen vieler Basidiomyceten mit denen der Ascomyceten aufweisen, läßt ebenfalls beide Reihen als Parallelgruppen erkennen. Ob dies aber wirklich auf einen gemeinsamen phylogenetischen Zusammenhang mit den Phykomyceten zurückzuführen ist, bleibt eine offene Frage.

Lebensweise der Basidiomyceten. In den einen Gruppen der Basidiomyceten finden wir ausschließlich oder hauptsächlich Saprophyten: so bei den Auriculariineen, Tremellineen, Hymenomyceten, Plectobasidii, Gastromyceten, während die Uredineen, Ustilagineen und Exobasidieen parasitische Pilze sind (s. auch den Artikel „Pflanzenkrankheiten"). Zu den flechtenbildenden Formen gehört nur eine einzige, nämlich eine Thelephoracee, welche sich bei der Bildung der Flechten Cora, Dictyonema, Laudatea beteiligt. Die Existenz von Gastromycetenflechten, die man eine Zeitlang annahm, hat sich dagegen nicht bestätigt.

A. Hypodermei.

Mit diesem Namen lassen wir eine von den älteren Mykologen aufgestellte Gruppe wieder aufleben, in welcher die Ustilagineen und Uredineen zusammengefaßt wurden. Gemeinsam ist diesen Pilzen die Eigentümlichkeit, daß die Basidie oder (bei den Ustilagineen) das Promycel aus einer Spore (Chlamydospore) hervorgeht. Fruchtkörper fehlen dagegen. Die hierhergehörenden Formen sind sämtlich Parasiten.

1. Ustilagineen oder Brandpilze (Hemibasidii). Diese Pilze leben als Parasiten im Innern der Gewebe höherer Pflanzen. Sie sind dabei in ihren einzelnen Arten sehr streng an bestimmte Wirte gebunden, was aber nicht hindert, daß man sie bis zu einem gewissen Punkte auch in künstlichen Nährlösungen zur Entwickelung bringen kann. In den befallenen Pflanzen breitet sich das Mycel gewöhnlich in den Interzellularräumen aus, doch in der Mehrzahl der Fälle ohne zerstörende Wirkungen auszuüben. Die Gegenwart der Ustilagineen macht sich daher, solange sie nicht Sporen bilden, an den befallenen Pflanzen äußerlich kaum bemerkbar. Nur in einigen Fällen entstehen auffallende Gewebewucherungen, so z. B. beim Maisbrand, wo sie die Form von großen Beulen annehmen (s. Artikel „Pflanzenkrankheiten Fig. 14). In vielen Fällen überwintert das Mycel in ausdauernden Teilen der Nährpflanze, so daß Jahr für Jahr an dieser wieder infizierte Triebe auftreten. — Conidienbildungen findet man in der Natur nur in relativ wenigen Fällen, häufiger bei Kultur in Nährlösungen. Die für die Ustilagineen am meisten charakteristischen Sporen sind die Chlamydosporen oder Brandsporen. Diese entstehen bei den einen Arten (Ustilago Maydis) an ganz beliebigen Stellen der Nährpflanzen, überall da wo sich gerade das Mycel angesiedelt hat, bei anderen hingegen kommen sie nur in ganz bestimmten Organen des Wirtes zur Entwickelung: Ustilago Antherarum und andere Arten bilden sie in den Antheren, Tilletia Tritici und andere nur im Fruchtknoten. Bei Melanotaenium hypogaeum entstehen sie in den Wurzeln, bei Ustilago Parlatorei ausschließlich in Blattstielen und Blattnerven. Die Bildung dieser Sporen wird dadurch eingeleitet, daß in den betreffenden Teilen der Wirtspflanze eine äußerst dichte Verflechtung, Verknäuelung und Verästelung der Mycelhyphen eintritt. Dann schwellen im Verlaufe der letzteren oder an den Enden kurzer Zweiglein die Zellen an (Fig. 60b), erhalten kugelige Gestalt, ihr Inhalt umgibt sich mit einer neuen Haut und wird so zu einer Spore (Fig. 60c, d), während die ursprüngliche Membran der Hyphen verquillt und zuletzt verschwindet. Man findet daher jetzt im Gewebe der Nährpflanze an Stelle des dichten Pilzgeflechtes ein Haufwerk von Brandsporen. Bei gewissen Gattungen

(Sphacelotheca) bleibt der peripherische Teil des Hyphenknäuels an der Sporenbildung unbeteiligt und bleibt als eine das Sporenhaufwerk umschließende Hülle erhalten. Die reifen Brandsporen sind in den einen Fällen ganz voneinander isoliert (Ustilago, Tilletia). In anderen Fällen bleiben sie zu

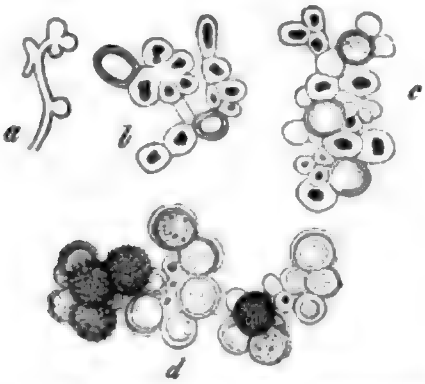


Fig. 60. Entstehung der Brandsporen bei Ustilago Tragopogonis. Aus de Bary, Pilze.

kleinen Gruppen (Urocystis, Tuburcinia) oder zu größeren Ballen (Doassansia) verbunden; sie sind dann häufig noch von sterilen Zellen umgeben (Urocystis, Doassansia); oder es stellen nur die peripherischen Zellen eines solchen Ballens die Sporen dar, während seine inneren Teile steril sind (Tracya, Doassansiopsis). Die Gewebe, in welchen diese Brandsporen auftreten, werden durch sie vollständig zerstört. Es ist daher in diesem Zeitpunkte die Krankheitserscheinung eine sehr auffällige, um so mehr als die Brandsporen häufig dunkel gefärbt sind: Ihr Auftreten als schwarze, pulverige Masse in den Aehren von Getreidearten ist es auch gewesen, das ihnen den Namen „Brand" eingetragen hat.

Fig. 61. Promycelium von Ustilago segetum. Nach Brefeld.

Die Brandsporen sind Dauersporen; sie können ihre Keimfähigkeit mitunter jahrelang bewahren. Ihre Weiterentwickelung erfolgt manchmal schon im Wasser, sehr oft aber erst wenn man sie in geeignete Nährlösungen bringt. Bei den Ustilagineen, welche man in der Familie der Ustilaginaceen im engeren Sinne zusammenfaßt, tritt aus der Brandspore (Fig. 61 cl) ein Keimschlauch (t) aus, der bald sein Wachstum einstellt und meist durch Querwände in zwei bis fünf Zellen geteilt wird, von denen jede seitlich eine oder mehrere dünnwandige Sporen c abschnürt. Bei den Tilletiaceen dagegen bleibt dieser Keimschlauch (Fig. 62 p) ungeteilt und bildet nach kurzem Längenwachstum an seinem Scheitel mehrere, mitunter ziemlich zahlreiche, meist spindelförmige Sporen (s). Diese sporenbildenden Keimschläuche nennt man Promycelium und die an ihnen entstehenden Sporen Sporidien. Letztere treten häufig paarweise miteinander in Verbindung (Fig. 62). — Aus den Sporidien

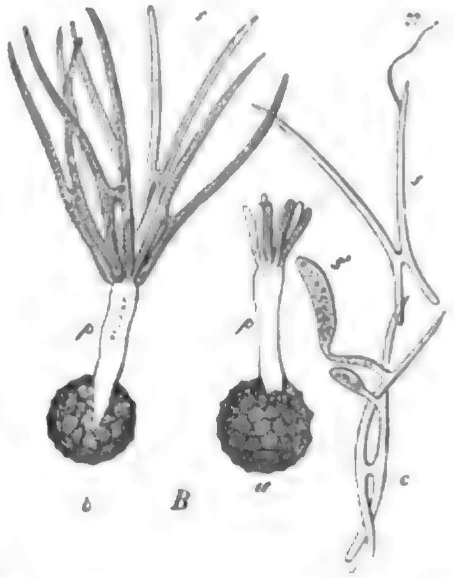


Fig. 62. Links Promycelium von Tilletia Tritici, rechts Fusion und Keimung der Sporidien und Conidienbildung. Nach Tulasne.

entwickeln sich, besonders wenn man sie in geeignete Nährlösungen bringt, entweder Sproßmycelien oder aber fädige Mycelien, an denen Conidien (s') entstehen können (Fig. 62 rechts). Gelangen nun Sporidien oder auch Sproßzellen oder Conidien auf weiche jugendliche Gewebe geeigneter Nährpflanzen, so infizieren sie dieselben, indem sie mit ihren Keimschläuchen durch die Epidermisaußenwand in sie eindringen. Ihre Weiterentwickelung in dieser Nährpflanze nimmt im einzelnen einen verschiedenen Verlauf: 1) den einfachsten Fall repräsentiert z. B. der Maisbrand, Ustilago Maydis. Zur Zeit der Infektion sind bei der Maispflanze sowohl junge Blätter als auch jugendliche Stengel oder Blütenteile für die Sporen zugänglich. Werden dieselben infiziert, so entsteht ein Mycel, das, ohne sich weit auszubreiten, an Ort und Stelle nach relativ kurzer Zeit Brandsporen bildet: erfolgte die Infektion am Stengel, so erscheinen an diesem die beulenförmigen brandsporenführenden Anschwellungen, erfolgte sie am jungen Kolben, so findet man hier die Brandbeulen usw. 2) Anders verläuft die Entwickelung z. B. beim Flugbrand des Hafers, Ustilago Avenae: Bei der Haferpflanze liegen jugendliche Gewebe nur an den Keimlingen an der Oberfläche, während sie später von älteren Teilen umschlossen sind. Eine Brandinfektion ist

Digitized by Google

daher nur zur Zeit der Keimung des Hafers möglich. Die eindringenden Pilzhyphen wachsen im Keimling bis in die Nähe der jungen Stengelspitze und folgen hinter ihr her ihrem Wachstum. Wenn dann die Blüten angelegt werden, dringen sie auch in diese ein, und erst hier gelangt das Mycel zur Brandsporenbildung. 3) Noch komplizierter gestaltet sich die Entwickelung da, wo eine sogenannte Blüteninfektion eintritt (z. B. beim Weizenbrand, Ustilago Tritici, und beim Gerstenbrand, Ustilago nuda). Hier gelangen die Pilzsporen auf die Narbe, ihre Keimschläuche wachsen dann von da in den Fruchtknoten hinunter und dringen hier schließlich auch in den jungen Samen ein, aber ohne dessen Entwickelung im geringsten zu stören: er reift ganz normal, nur enthält sein Keimling Pilzhyphen, die bei der Keimung wie im vorigen Falle hinter der wachsenden Spitze her vorrücken, um zuletzt auch wieder in den Blüten Brandsporen zu bilden.

Ueber das Verhalten der Zellkerne im Verlauf des beschriebenen Entwickelungsganges der Ustilagineen ist in neuester Zeit folgendes bekannt geworden: Bei Ustilago segetum entstehen durch Vereinigung von zwei einkernigen Promycelzellen oder durch paarweise Verbindung der einkernigen Sporidien, bei U. Maydis durch Verschmelzung je zweier aneinanderstoßender Mycelzellen, Kernpaare, die dann in der jungen Brandspore verschmelzen. Man kann dabei annehmen, daß die Reduktionsteilung — welche bisher noch nicht beobachtet ist — vor oder während der Keimung der Brandspore vor sich geht.

Die nächsten Beziehungen zeigen die Ustilagineen zu den Uredineen: Die Teleutospore der letzteren entspricht der Brandspore und die Basidie der Uredineen ist ein Promycel, in das hinein der Reduktionsvorgang verlegt ist. Daher ist man auch berechtigt, die Ustilagineen unter die Basidiomyceten einzureihen.

2. Uredineen. (Rostpilze). Wie die Ustilagineen, so sind auch die Uredineen durchwegs Parasiten auf höheren Pflanzen und dabei in ihren einzelnen Arten streng an bestimmte Wirte gebunden. Bisher ist es auch nicht gelungen, sie auf künstlich hergestellten Nährböden zu züchten. Ihr Mycel hat bald nur geringe Ausbreitung, bald durchzieht es die befallenen Pflanzen auf größere Strecken. Häufig überwintert es in Wurzelstöcken oder Zweigen; es tritt dann Jahr um Jahr der Pilz an der befallenen Pflanze wieder auf. Seine Wirkung besteht entweder in Verfärbung und schließlicher Abtötung des Gewebes oder aber in mehr oder weniger weitgehenden Deformationen aller Art; dahin gehören z. B. die Hexenbesen (s. den Artikel „Pflanzenkrankheiten" Fig. 5). In neuerer Zeit vertritt Eriksson die Ansicht, daß die Uredineen einen Teil ihrer vegetativen Entwickelung in Form von plasmatischen membranlosen Gebilden in den Zellen der Nährpflanze durchmachen (Mykoplasma-Theorie). — Die reproduktiven Verhältnisse der Uredineen sind dadurch ziemlich kompliziert, daß im Laufe ihrer Entwickelung nicht weniger als fünf verschiedene Fruktifikationsformen auftreten können: Pykniden, Aecidien, Uredolager, Teleutosporenlager, Basidien. Dieselben treten fast stets in der angegebenen Reihenfolge auf, werden aber nicht immer sämtlich gebildet. Da wo sie alle zur Ausbildung kommen, gestaltet sich der Entwickelungsgang wie folgt: Zuerst erscheinen am Mycel die Pykniden oder Spermogonien (Fig. 63). Es sind das

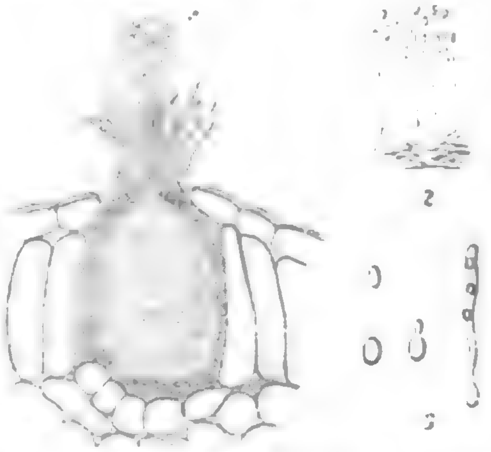


Fig. 63. 1 Pyknide von Puccinia graminis. 2 Entstehung der Conidien, 3 Keimung einer Conidie. Aus v. Tavel, Pilze.

meist im Gewebe des Wirtes eingesenkte krugförmige Behälter, deren Innenwand von dichtstehenden Hyphenenden ausgekleidet ist, welche sehr kleine sporenartige Gebilde abschnüren. Die Funktion der letzteren ist unbekannt, man hat nur in ganz vereinzelten Fällen bei ihnen Anfänge einer Keimung gesehen (Fig. 63, 3). Die einen betrachten sie daher als Conidien, während andere sie für funktionslos gewordene männliche Sexualzellen halten und sie Spermatien nennen. — Etwas später entstehen am gleichen Mycel die Aecidien. Für eine Anzahl von Uredineen sind bei deren Anlage Sexualvorgänge nachgewiesen worden. Bei Phragmidium speciosum spielen sich dieselben folgendermaßen ab: Unter der Epidermis der Wirtspflanze ordnen sich Hyphenenden des Pilzes so an, daß sie eine zur Oberfläche senkrecht gestellte Palisade bilden (Fig. 64 A). Jedes Hyphenende teilt sich dann durch Querwand in eine kleinere obere („Trichogyn") und eine größere untere Zelle (Fig. 64 B); letztere ist die eigentliche Sexualzelle. Beide sind einkernig. Die Sexual-

gitized by Googl

zellen treten nun mit ihrem oberen Teile paarweise in offene Verbindung (Fig. 64C) und ihre Kerne vereinigen sich, ohne zu verschmelzen, zu einem Kernpaar („Synkaryon"), das sich alsbald teilt. Von den Tochterkernen bleiben die beiden oberen als Kernpaar beisammen, die beiden unteren rücken in den unteren Teil der beiden Sexualzellen zurück (Fig. 64D). Unterhalb des oberen Kernpaares entsteht dann eine Querwand (Fig. 64E) und die so abgegrenzte Zelle stellt jetzt eine Sporenmutterzelle dar, aus der durch eine weitere Teilung eine kleinere Zwischenzelle und eine Aecidiospore hervorgeht. Nun rücken die beiden unteren Kerne wieder zusammen und bilden aufs neue ein Kernpaar; dieses teilt sich genau wie vorhin und es wird, wiederum durch eine Querwand, eine zweite Sporenmutterzelle unter der ersten abgegrenzt. So geht die Sache weiter, bis schließlich eine ganze Kette von Aecidiosporen (a_1, a_2) und Zwischenzellen (z_1, z_2) entstanden ist (Fig. 64F). Diese Sporenketten sind nun stets in größerer Zahl zu einer Gruppe vereinigt, die man Aecidium nennt (Fig. 65). Meistens werden dabei die an der Peripherie stehenden Sporenketten nicht zu wirklichen Sporen, sondern sie schließen sich seitlich zusammen und bilden eine das ganze Aecidium umschließende Hülle, welche meist becherartig geöffnet ist, die Pseudoperidie (p). Aecidien ohne Pseudoperidie bezeichnet man als Caeoma. — Nicht immer sind bei der Anlage der Aecidien die kopulierenden Hyphenenden so regelmäßig palisadenförmig gestellt; vielmehr erfolgt oft die Bildung der Kernpaare in einem unregelmäßigeren pseudoparenchymatischen Hyphengeflecht, aus dem sich dann die Sporenketten erheben. — Die Aecidiosporen werden durch den Wind verbreitet. Ihre Keimung erfolgt unter günstigen Bedingungen sofort und zwar durch Bildung eines Keimschlauches, der in die geeigneten Nährpflanzen durch die Spaltöffnungen eindringt. Das Kernpaar der Aecidiospore wandert in diesen Keimschlauch ein und bei jeder Zellteilung des letzteren teilt es sich so, daß jede Tochterzelle auch wieder ein Kernpaar erhält. Es entsteht also jetzt in der Nährpflanze ein Mycel mit zweikernigen Zellen, das sich aber im übrigen nicht von demjenigen unterscheidet, welches die Pykniden und Aecidien produziert. Dieses Mycel bildet nun Uredolager: seine Hyphen verflechten sich an gewissen Stellen unter der Epidermis zu einem dichten Geflecht, von welchem sich kürzere oder längere Zweige erheben, die in der Einzahl (seltener in Ketten) die Uredosporen (Fig. 66, s_u) abschnüren. Sind diese reif, so sprengen sie meist die bedeckende Epidermis und werden in Form eines pulverigen, oft rostfarbigen Häufchens an der Oberfläche sichtbar. Sie enthalten von Anfang an ein Kernpaar und dienen meistens zur raschen Verbreitung des Rostpilzes während des Sommers. Ihre Keimung erfolgt wie bei den Aecidiosporen durch Keimschlauch (Fig. 66, 6). Dieser

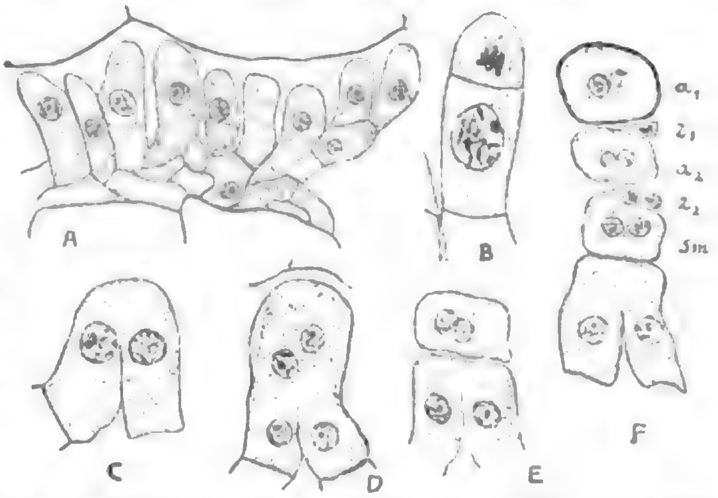


Fig. 64. Entstehung der Aecidiosporen bei Phragmidium speciosum. Nach Christman.

Fig. 65. Aecidium von Puccinia graminis. Im Längsschnitt. s Sporenketten, p Pseudoperidie, m Mycel, ep Epidermis der Nährpflanze. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

tritt an bestimmten verdünnten Stellen der Sporenwand aus (Keimporen, Fig. 66, 5 p und 6) und dringt in zusagende Nährpflanzen durch die Spaltöffnungen ein. Er entwickelt sich dann wieder zu einem Mycel mit doppelkernigen Zellen und dieses kann wieder Uredolager bilden. Das geht oft in mehreren Generationen so weiter; es können aber auch statt der Uredosporen oder auch zugleich mit ihnen, nicht selten sogar im gleichen Lager (Fig. 66, 5), Teleutosporen gebildet werden. Dauersporen dar, oft aber sind sie dünnwandig und können sofort nach ihrer Entstehung keimen. In letzterem Falle zeigen sie mitunter kaum mehr den Charakter von Sporen: bei Chrysomyxa z. B. sind sie eigentlich nichts anderes als etwas angeschwollene, querseptierte, palisadenförmig angeordnete Hyphenenden (Fig. 68). Alle diese Verhältnisse haben in der Systematik der Uredineen Verwendung gefunden. Stets unterscheiden sich aber die Teleutosporen

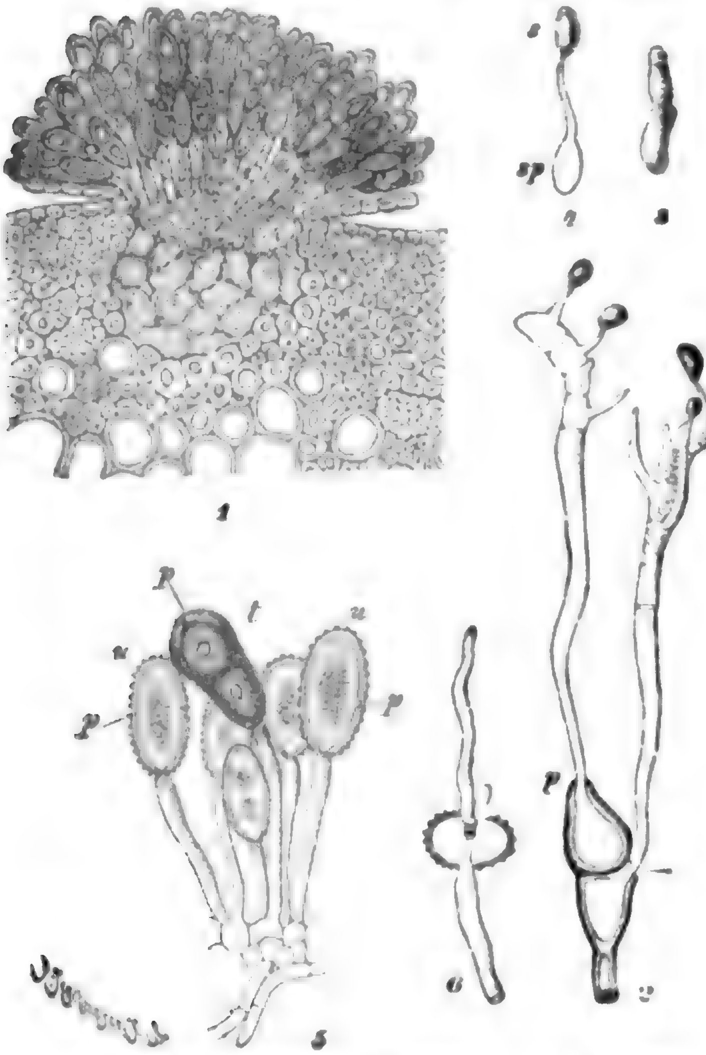


Fig. 66. Puccinia graminis. 1 Teleutosporenlager, 2 Teleutospore mit Basidien, 3 keimende Basidiospore, 4 Basidiospore, die eine sekundäre Spore gebildet hat, 5 Uredosporen und Teleutospore. 6 Keimende Uredospore. Nach v. Tavel, Tulasne, de Bary.

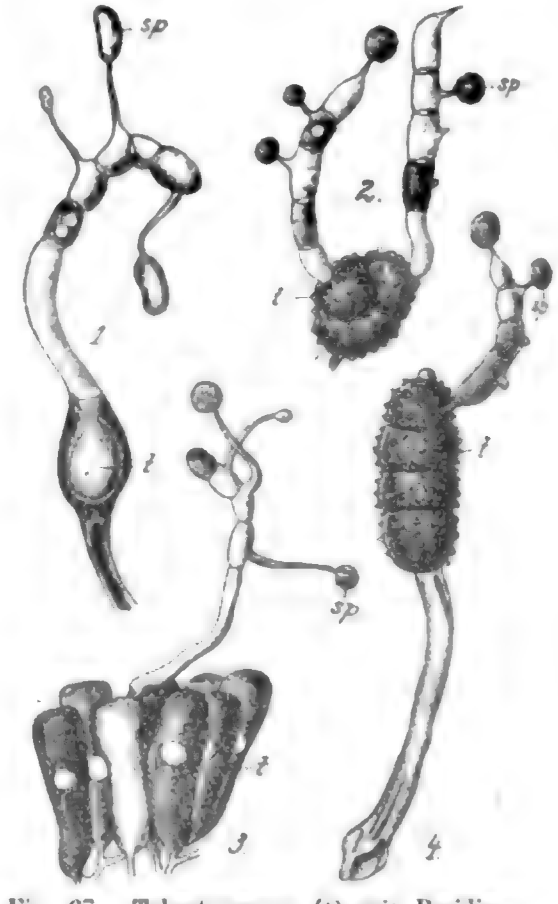


Fig. 67. Teleutosporen (t) mit Basidien. 1 Von Uromyces Fabae, 2 Von Triphragmium Ulmariae, 3 Von Melampsora betulina, 4 Von Phragmidium Rubi. Nach Tulasne.

Die Entstehung derselben geht in gleicher Weise vor sich wie die der Uredosporen, nur sind sie in ihrer Form weit mannigfaltiger: oft einzellig (Fig. 67, 1, 67, 3), oft zwei- oder mehrzellig (Fig. 66, 2, 67, 2, 67, 4), oft in gallertartigen Polstern eingebettet oder in, auf, oder unter der Epidermis zu kompakten Krusten (Fig. 67, 3) verbunden, oder zu einem säulenförmigen Körper verwachsen; häufig sind sie dickwandig und stellen überwinternde von den Uredosporen durch ihre Kernverhältnisse: die beiden Kerne des Kernpaares, welches bei ihnen anfänglich in jeder Zelle enthalten ist, verschmelzen bald; die reife Teleutospore enthält daher in jeder Zelle einen diploiden Kern. Die Keimung erfolgt durch Keimschläuche, die in der Ein- oder Mehrzahl, meist an bestimmten Stellen (Keimporen) aus der Teleutospore austreten. Diese Keimschläuche werden zu querge-

igitized by Google

teilten, fast immer vierzelligen **Basidien** (Fig. 66, 2, 67, 68 p), und während ihrer Entwickelung erfolgt die Reduktionsteilung des Kernes. Jede Basidienzelle bildet zuletzt ein **Sterigma** und auf diesem eine dünnwandige, zarte und vergängliche **Basidiospore**. Für die Basidie und Basidiospore braucht man auch die Ausdrücke **Promycel** und **Sporidie**. Die Basidiospore keimt sofort; auf der geeigneten Nährpflanze dringt ihr Keimschlauch ein und zwar fast immer die Außenwand der Epidermis durchbohrend. Das ist natürlich nur möglich, solange sich letztere in jugendlichem, weichem Zustande befindet. Es können daher auch im allgemeinen nur junge Pflanzenteile durch die Basidiosporen infiziert werden. Das so entstandene Mycel enthält in seinen Zellen einfache, haploide Kerne; es bildet gewöhnlich nach wenigen Tagen wieder Pykniden und später Aecidien.

Der soeben beschriebene Uredineen-Entwickelungsgang läßt sich in folgendem Schema übersichtlich resümieren:

muß man, soweit die Beobachtungen reichen, annehmen, daß die Entstehung des Kernpaares in dem Hyphengeflechte erfolgt, aus dem die Uredo- oder, wo auch diese

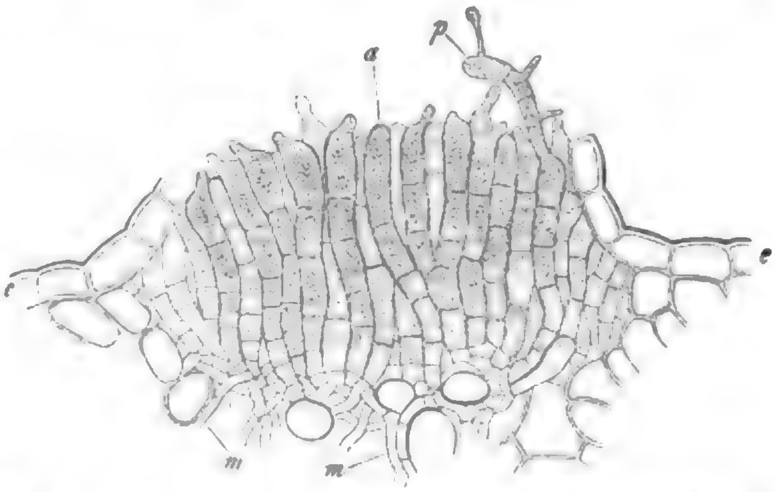


Fig. 68. Chrysomyxa Rhododendri. Teleutosporenlager. a Teleutospore, ungekeimt, p Basidie (e Epidermis, m Mycel). Aus de Bary, Pilze.

fehlen, die Teleutosporen hervorgehen. In der Gattung **Endophyllum** hingegen, wo die Uredo- und Teleutosporenbildung unterbleibt, geht die Basidie direkt aus der Aecidiospore hervor (Fig. 59A). Der

Basidiosp. { Mycel mit 1kernigen Zellen } ⇉ Pykniden / Sexualz. → Aecidiosp. ↗ { Mycel mit 2kernigen Zellen } → Uredosp. → { Uredosp. / Teleutosp. } ↗ Basidie.

Gametophyt (Basidiosp. bis Sexualz.) — Sporophyt (Aecidiosp. bis Basidie).

In diesem Schema kommt, wie bei den Ascomyceten, die Auffassung zum Ausdruck, daß der Entwickelungsabschnitt, welcher mit der Bildung der Kernpaare beginnt, als Sporophyt, und der Abschnitt, welcher mit der Reduktionsteilung beginnt, als Gametophyt anzusehen ist.

Nun kann aber dieser Entwickelungsgang alle möglichen Modifikationen erfahren. Die wichtigsten bestehen darin, daß von den beschriebenen Sporenbildungen einzelne oder mehrere übersprungen werden können. Wenn man, wie üblich, die Pykniden mit O, die Aecidien mit I, die Uredo- mit II, die Teleutosporen mit III bezeichnet, so kann man folgende Entwickelungstypen unterscheiden:

Eu-Uredinales	O	I	II	III
Kata-Uredinales	—	I	II	III
Brachy-Uredinales	O	—	II	III
Hypo-Uredinales	O	—	—	III
Opsi-Uredinales	O	I	—	III
Katopsi-Uredinales	—	I	—	III
Hemi-Uredinales	—	—	II	III
Mikro-Uredinales	—	—	—	III
Endo-Uredinales	O	I	—	—

In den Fällen, wo die Aecidien fehlen,

Entwickelungsgang dieser Gattung verläuft also so:

Basidiosp. ⇉ Pykniden / Sexualzellen → Aecidiosp. → Basidie

Gametophyt (Basidiosp. bis Sexualzellen) — Sporophyt (Aecidiosp. bis Basidie).

Man hat vielfach darüber diskutiert, welcher von diesen verschiedenen Entwickelungstypen wohl als der phylogenetisch älteste anzusehen sei, und damit hängt auch die Frage nach den **Anschlüssen der Uredineen** zusammen. Eine bestimmte Antwort auf diese Fragen läßt sich heute nicht geben. Soviel dürfte aber einleuchten, daß der Typus von **Endophyllum** eine große Uebereinstimmung mit der Entwickelung einfacher Ascomyceten zeigt und (wenn man die Aecidiospore mit der Zygote als gleichwertig ansieht) auch Beziehungen zu den Zygomyceten erkennen läßt (vgl. Endogone und Basidiobolus). Bei denjenigen Uredineen, welche alle Sporenformen besitzen, geht dagegen der doppelkernige Abschnitt in seiner Ausbildung weit über die Ascomyceten hinaus, indem er im uredo- und

Digitized by Google

teleutosporenbildenden Mycel ganz selbständig wird und sogar in mehrere Generationen zerfallen kann.

Auch die Verteilung des Entwickelungsganges auf die einzelnen Jahreszeiten gestaltet sich verschieden. Am häufigsten sehen wir die Teleutosporen überwintern, dann im Frühjahr Basidien bilden. Wenige Tage nachher erscheinen die Pykniden und noch etwa 14 Tage später die Aecidien. Im Sommer reifen die Uredosporen und im Herbst wieder die Teleutosporen. Aber infolge von Ueberwinterung des Mycels, Ueberspringung oder Wiederholung von Sporenformen (es gibt auch Fälle, wo sich die Aecidien wiederholen), von sofortigem Keimen der Teleutosporen oder Ueberwinterung der Uredosporen kann sich die ganze Entwickelung nach allen möglichen Richtungen hin verschieben.

Wenn wir endlich noch die Nährpflanzen in Betracht ziehen, auf denen sich der beschriebene Entwickelungsgang vollzieht, so finden wir viele Uredineen, bei denen die sämtlichen Fruchtformen auf derselben Wirtsspecies entstehen. Es sind das die autoecischen oder autoxenen Uredineen. Ihnen gegenüber stehen die heteroecischen oder heteroxenen, bei welchen sich die verschiedenen Entwickelungsabschnitte auf zwei Wirte verteilen: auf dem einen entsteht das Mycel mit den einkernigen Zellen, welches Pykniden und Aecidien bildet, auf dem anderen das Mycel mit den doppelkernigen Zellen und mit den Uredo- und Teleutosporen. Dabei ist ausdrücklich hervorzuheben, daß diese beiden Wirte niemals nahe verwandten Familien angehören. Aus den zahlreichen bekannten Fällen seien nur einige wenige Beispiele herausgegriffen:

	Aecidienwirt:	Uredo- und Teleutosporenwirt:
Puccinia graminis	Berberis vulgaris	Gramineen
Puccinia coronata	Rhamnus Frangula u. a. Spezies	Gramineen
Puccinia dispersa	Borraginaceen	Gramineen
Puccinia Caricis	Urtica	Carex-Arten
Puccinia dioicae	Cirsium-Arten	Carex Davalliana und dioica
Gymnosporangium Sabinae (besitzt keine Uredo)	Pirus communis	Juniperus Sabina
Uromyces Pisi und Verwandte	Euphorbia cyparissias	Papilionaceen
Ochropsora Sorbi	Anemone nemorosa	Sorbus-Arten
Chrysomyxa Rhododendri	Picea excelsa	Alpenrose
Coleosporium Senecionis	Pinus silvestris	Senecio silvaticus
Melampsorella Caryophyllacearum	Abies pectinata	Stellaria-Arten
Pucciniastrum Goeppertianum	Abies pectinata	Vaccinium Vitis Idaea

B. Protobasidiomyceten.

Als Protobasidiomyceten bezeichnet man gewöhnlich die Basidiomyceten mit geteilten Basidien. In diesem Sinne gefaßt gehören die Uredineen auch dazu. Wir fassen hier den Begriff enger und rechnen zu den Protobasidiomyceten nur die Formen, bei denen die Basidien nicht aus Sporen hervorgehen, sondern aus Fruchtkörpern. Diese letzteren haben oft eine mehr oder weniger gallertige Beschaffenheit. Die hierhergehörenden Pilze sind fast sämtlich Saprophyten und leben meist auf faulem Holz.

1. **Auricularineen.** Hier sind die Basidien quergeteilt, wie bei den Uredineen. Sie entstehen bei den einfachsten Formen (Stypinella) in regelloser Anordnung an kleinen Mycelflöckchen, die kaum den Namen von Fruchtkörpern verdienen, während bei den höchstausgebildeten (Auricularia) große muschel- oder ohrförmige Fruchtkörper vorkommen, deren Unterseite von einem regelrechten Basidienhymenium überzogen ist. Bei Pilacre sind die Basidien im Innern eines gestielten köpfchenförmigen Fruchtkörpers eingebettet. — Die Auricularineen schließen sich eng an die Uredineen an: der Uebergang wird vermittelt durch jene Uredineen, deren Entwickelung sich auf die Ausbildung dünnwandiger Teleutosporen (Chrysomyxa-Typus) beschränkt, welche kaum mehr Sporencharakter zeigen und, ohne eine Ruhezeit durchzumachen, sofort Basidien bilden. Andererseits gibt es gewisse Auricularineen, wie z. B. Jola, wo am Grunde der Basidie eine an eine Teleutospore erinnernde blasige Anschwellung auftritt.

2. **Tremellineen.** Die Basidien der Tremellineen (Fig. 59B) sind meist rundlich und der Länge nach durch zwei übers Kreuz gestellte Wände in 4 Zellen geteilt, von denen jede nach oben in ein langes Sterigma mit Basidiospore ausgeht. Einen besonderen Typus repräsentiert Sirobasidium, dessen Basidien kettenartig hintereinanderliegende Zellen von Hyphenzweigen darstellen und schräg geteilt sind. Die Fruchtkörper sind meist gelatinös, oft ganz unscheinbar, oft auch dick polsterförmig, hautartig, lappig oder konsolenförmig usw. Die Basidien erscheinen gewöhnlich zu einem Hymenium angeordnet. Bei Protomerulius überzieht

dieses die wabenartig skulptierte Oberseite häutiger Fruchtkörper, bei Tremellodon stachelförmige Fortsätze an der Unterseite von konsolenartigen oder gestielten Fruchtkörpern.

C. Autobasidiomyceten.

Hier sind die Basidien stets ungeteilt, d. h. sie besitzen keine Scheidewände.

1. Hymenomyceten. Gemeinsam ist den hierhergehörenden Pilzen das Basidienhymenium, welches zur Zeit der Reife an der Oberfläche von Fruchtkörpern liegt. Das Mycel lebt meist saprophytisch, besonders oft im Humusboden der Wälder oder auf Holz. Manche Arten gehen aber auch auf lebende Pflanzen, besonders Bäume, über, wobei oft Wunden als Eintrittstelle benutzt werden. Die Mycelhyphen verlaufen im Substrate entweder mehr oder weniger isoliert oder sie vereinigen sich zu strangartigen Bildungen, zuweilen in Form von Rhizomorphen. Auch Sklerotien sind in vielen Fällen beobachtet worden. Bei gewissen Polyporus- und Lentinusarten können diese Faust- oder sogar Kopfgröße erreichen. Im Boden breitet sich das Mycel oft zentrifugal aus und bildet nur an seiner Peripherie Fruchtkörper, infolgedessen erscheinen diese dann häufig auffallend kreisförmig angeordnet (Hexenringe). — Die Ausbildung der Fruchtkörper zeigt alle möglichen Abstufungen: in den einfachsten Fällen bilden sie spinngewebeartige Ueberzüge des Substrates, an welchen die Basidien noch ziemlich regellos auftreten. Andere haben die Form von Krusten oder Häuten, die entweder fest mit der Unterlage verwachsen sind oder ihr mehr nur aufliegen, oder es sind aufrechte keulenförmige, kopfförmige, trichterförmige oder verästelte Gebilde. In allen diesen Fällen tritt ein wohlausgebildetes Basidienhymenium auf, das die ganze freie Oberfläche des Fruchtkörpers oder einen großen Teil derselben überzieht. Bei vielen, namentlich holzbewohnenden Hymenomyceten treffen wir halbkreisförmige, nach Art von Konsolen seitlich befestigte Fruchtkörper. Die höchste Ausbildung erreicht der Fruchtkörper da, wo er die Gestalt eines schirm-, scheiben- oder auch flach trichterförmigen Hutes (Pileus) annimmt, der einem zentralen Stiele oder Strunke aufsitzt. An diesen Konsolen und Hüten bedeckt das Hymenium nur die Unterseite. Bei den hutförmigen Fruchtkörpern treten überdies oft noch Komplikationen ein durch die sogenannten Schleier- oder Velumbildungen. In jugendlichen Zuständen, bei denen der Strunk noch kurz und der Hut stark nach unten gebogen ist, findet man den Hutrand oft durch eine Haut, das sogenannte Velum partiale (Fig. 69 vp) mit dem Strunke verbunden. Diese Verbindung ist entweder von Anfang an vorhanden oder erst nachträglich entstanden dadurch, daß Hyphen vom Hutrande und vom Strunke her einander entgegengewachsen sind und

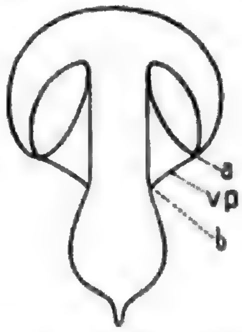


Fig. 69. Längsschnitt durch einen hutförmigen Fruchtkörper mit Velum partiale. Schematisch.

sich zu einer Verbindungshaut verflochten haben. Wenn sich dann später der Hut ausbreitet, so zerreißt das Velum partiale: dies kann auf verschiedene Weise vor sich gehen: 1. die Haut löst sich (bei b) vom Strunke ab und ihre Reste bleiben am Hutrande hängen; man spricht dann von einem Randschleier oder einer Cortina; 2. die Haut löst sich (bei a) vom Hutrande ab, bleibt aber mit dem Strunke fest verbunden als eine Art Kragen, Annulus inferus; 3. die Haut löst zuerst ihren Zusammenhang mit dem Strunke, trennt sich dann auch vom Hutrande und bleibt nun als ein verschiebbarer Ring, Annulus mobilis, am Strunke hängen. Bei Amanita und einigen verwandten Gattungen, sowie bei der Polyporacee Volvoboletus ist der ganze Hut von Anfang an außen von einer Hülle umschlossen, die sich nach unten in eine knollige Verdickung der Strunkbasis fortsetzt. Diese Hülle (Fig. 70 vu) nennt man Velum universale.

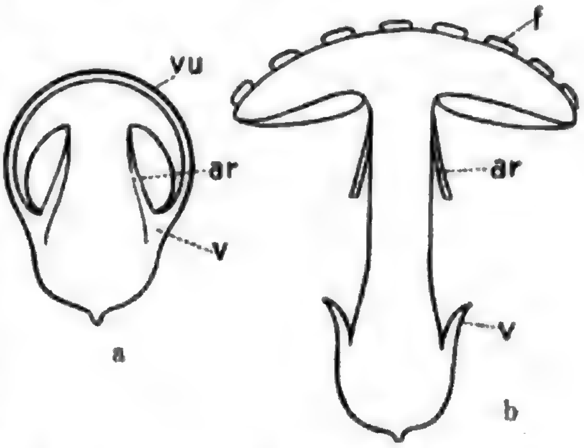


Fig. 70. Längsschnitt durch einen hutförmigen Fruchtkörper mit Velum universale. a Im jugendlichen Zustande, b Im fertig entwickelten Zustande. Schematisch.

Wenn sie dann bei der Streckung des Strunkes und Ausbreitung des Hutes zerreißt, so bleiben ihre Reste teils als Scheide (Volva,

Digitized by Google

Fig. 70 v) an der verdickten Strunkbasis erhalten, teils in Form von Fetzen (Fig. 70 f) auf der Oberseite des Hutes (z. B. die weißen Flocken auf dem roten Hute des Fliegenschwammes). Unter dem Hute löst sich von der Strunkoberfläche oft noch eine Haut (Fig. 70 ar) ab, die als sogenannte **Manschette, Armilla**, am Strunke hängen bleibt. — Große Mannigfaltigkeit zeigen die Hymenomycetenfruchtkörper auch in bezug auf ihren Aufbau. Die Hyphen aus denen sie bestehen sind meist regellos verflochten, in dem Strunke oft deutlich längsverlaufend. Häufig nimmt das Geflecht auch pseudoparenchymatische Beschaffenheit an. In der Gattung **Lactaria** und bei gewissen **Mycena**arten trifft man ferner Hyphen, welche einen weißen oder rötlichen **Milchsaft** enthalten, der bei Verletzungen aus dem Fruchtkörper austritt. Je nach der Beschaffenheit der Membranen und der Dichtigkeit der Verflechtung der Hyphen wechselt auch die Konsistenz: häutig, lederig, korkartig, holzig, fleischig. Die fleischigen Fruchtkörper sind meist vergänglich, während holzige oder lederige oft sehr langlebig sind. In letzterem Falle kommt es vor, daß Jahr für Jahr an ihrem Rande und an ihrer Unterseite neue Zuwachsschichten gebildet werden, diese geben sich dann äußerlich als deutliche Zonen zu erkennen (Fig. 71).

Fig. 71. Schnitt durch einen konsolenförmigen holzigen Fruchtkörper von **Polyporus igniarius** mit Zuwachszonen. $^1/_4$ nat. Gr. a Anheftungsstelle. Aus **Strasburger**, Lehrbuch der Botanik.

Eine wichtige Rolle spielt in der Systematik der Hymenomyceten die Ausbildung des **Hymenophors**, d. h. des vom Hymenium überzogenen Teiles des Fruchtkörpers. Es ist dasselbe entweder mehr oder weniger glatt oder zeigt zahnartige Vorsprünge oder Netzleisten oder auch enge Poren oder endlich radial angeordnete Lamellen (das Nähere siehe bei den einzelnen Familien). Das Geflecht, welches die Trennungswände zwischen den Poren oder das Innere der Lamellen bildet, bezeichnet man als **Trama** und die direkt unter dem Hymenium liegende Geflechtslage, aus der die Basidien unmittelbar entspringen, als **Subhymenium**. Die Basidien (Fig. 72) sind meist kurzzylindrisch bis keulenförmig. Die Sporen entstehen auf ihnen zu vier, selten zu zweien, fast immer auf **Sterigmen**, die mit Ausnahme der Dacryomyceten überall eine dünne, pfriemliche Gestalt haben. Die Form der Sporen ist eine kugelige, länglichrunde, zylindrische oder spindelförmige, zuweilen auch eckig oder sternförmig. Für die Systematik ist besonders auch ihre Farbe wichtig geworden: legt man

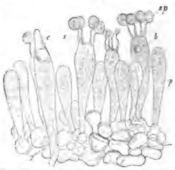


Fig. 72. Partie aus dem Hymenium einer Agaricacee (**Russula rubra**). b Basidien, p Paraphysen, c Cystide. Aus **Strasburger**, Lehrbuch der Botanik.

den Hut eines Fruchtkörpers mit der Unterseite auf ein Blatt Papier, so fallen die Sporen auf dasselbe aus als ein Pulver von weißer, rosa- oder rostroter, ockergelber, brauner oder schwarzer Farbe. — Neben den Basidien findet man im Hymenium häufig noch ähnlich gestaltete aber sporenlose Hyphenenden, die man **Paraphysen** genannt hat. Ferner ragen oft große blasen-, keulen- oder spindelförmige einzellige Gebilde weit hervor, die sogenannten **Cystiden** (Fig. 72 c, 73 p);

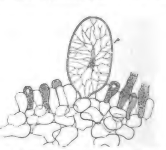


Fig. 73. Hymenium von **Coprinus micaceus** Basidien, Paraphysen, Cystide P. Aus de Bary, Pilze.

Digitized by Google

mitunter verbinden diese wie Sperrbalken zwei gegenüberliegende Lamellen miteinander. Ihre Bedeutung ist noch unklar, in gewissen Fällen mögen sie das gegenseitige Verkleben von Lamellen verhindern und so das Ausfallen der Sporen erleichtern.

Außer den Basidiosporen kommen bei den Hymenomyceten auch conidienartige Bildungen vor, man hat solche namentlich auch bei künstlicher Kultur in Nährlösungen beobachtet. Besonders oft trifft man sie in Gestalt von Oidien, bei denen sich ganze Hyphenzweige in Sporen zergliedern. Gewisse Formen bilden auch dickwandige Chlamydosporen, mitunter so massenhaft, daß die normale Sporenbildung auf den Basidien in weitgehendem Maße oder vollständig unterdrückt wird, so bei der Polypoacee Ceriomyces und der kleinen auf anderen Hutpilzen schmarotzenden Agaricacee Nyctalis.

Die einzelnen Untergruppen der Hymenomyceten können zu einer Reihe angeordnet werden, welche sowohl in bezug auf die Ausbildung der Fruchtkörper als auch hinsichtlich der Gliederung der hymeniumtragenden Fläche von einfacheren zu höheren Formen ansteigt.

a) Dacryomyceten. Durch ihre gallertigen Fruchtkörper an die Tremellineen erinnernd. Die Basidien sind lang keulenförmig und gabeln sich nach oben in zwei dicke Sterigmen; sie bilden ein deutliches Hymenium.

b) Tulasnellaceen. Die Fruchtkörper verdienen kaum diese Bezeichnung. Sie bilden auf dem Substrate einen wenig entwickelten Belag aus verflochtenen Mycelhyphen, an denen, ohne eine deutliches Hymenium zu bilden, kugelige Basidien entspringen. Diese tragen je 4 sitzende Sporen, die sich nicht ablösen, sondern direkt auf der Basidie keimen.

c) Corticiaceen. Auch hier sind die Fruchtkörper noch wenig entwickelt. Sie stellen spinnwebeartige oder auch fleischig häutige Ueberzüge des Substrates dar. Das Hymenium ist normal ausgebildet, die hymeniumtragende Fläche glatt oder etwas runzelig. Die wichtigsten Gattungen sind Tomentella, Corticium, Stereum. Bei letzterer ist der Fruchtkörper fast lederartig und hebt sich am Rande von seiner Unterlage ab.

d) Thelephoraceen. Meistens hebt sich bei diesen Formen der Fruchtkörper vom Substrate ab. Er stellt bei Thelephora lappig zerteilte krusten- oder hutförmige, lederige Körper dar, bei Solenia sind es dicht beisammenstehende röhrchenförmige Gebilde, bei Cyphella kleine Becher, ähnlich denen der Pezizaceen. Große trichterförmige Fruchtkörper hat Craterellus (C. cornucopioides, die sogenannte Totentrompete, ist eßbar). Das Hymenium überzieht die Ober- oder Unterseite.

e) Clavariaceen. Die gewöhnlich fleischigen Fruchtkörper sind keulenförmig oder verzweigt. Bei Typhula stellen sie sehr zarte, fast fadenförmige Keulen, die meist aus kleinen Sklerotien entspringen, bei Clavaria größere Keulen oder korallenartigästige Gebilde dar (Cl. Botrytes, Cl. flava und andere sind eßbar). Auch Sparassis hat reichverzweigte Fruchtkörper, aber ihre Zweige sind blattartig und kraus.

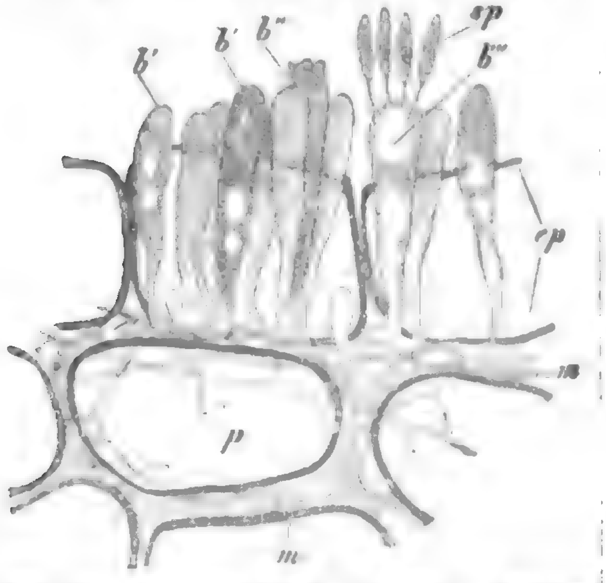
f) Hydnaceen. Charakteristisch für diese Gruppe ist der Umstand, daß der hymeniumtragende Teil des Fruchtkörpers aus warzenförmigen oder stachelförmigen Vorsprüngen oder auch kammartig zackigen Blättern besteht. Die Form des Fruchtkörpers ist eine sehr verschiedene: bei den allereinfachsten Formen (Mucronella) besteht er nur aus den genannten Stacheln, bei anderen ist er krustenförmig ausgebreitet, korallenartig ästig, muschelförmig oder hutförmig. Die wichtigste Gattung ist Hydnum (H. repandum wird als Speisepilz verwendet).

g) Polyporaceen. Bei ebenfalls sehr verschiedener Gestalt und Konsistenz der Fruchtkörper überzieht das Hymenium die Wandung von seichten Netzmaschen, von wabenzellen- oder porenartigen Kanälen oder labyrinthischen Vertiefungen. Merulius lacrymans, der Hausschwamm, dessen Mycel das Bauholz zerstört, hat dickhäutige, auf der Unterlage weit ausgebreitete Fruchtkörper, deren hymeniumtragende Oberseite niedrige, netzartig verbundene und zuweilen stachelartig vorspringende Leisten trägt. Bei den einander nahe verwandten Gattungen Polyporus, Polystictus, Fomes überzieht das Hymenium die Wand von meist dichtstehenden engen Poren an der Unterseite von konsolenartigen oder zentralgestielten Fruchtkörpern. Die meisten Arten derselben sind holzig, lederig oder zähfleischig; daher auch nur wenige (z. B. Polyporus confluens) eßbar; viele sind wichtige Holzzerstörer und Forstschädlinge. Bei Daedalea haben die Poren labyrinthartig buchtige Form und bei Trametes findet man durch Querbrücken verbundene Lamellen. Boletus hat zentralgestielte hutförmige fleischige Fruchtkörper, bei denen sich die porendurchsetzte Schicht leicht von dem übrigen Teile des Hutes ablösen läßt. B. edulis, der Steinpilz, und andere Arten, sind eßbar, andere, z. B. B. satanas, giftig.

h) Agaricaceen. Die Fruchtkörper der Agaricaceen sind zentral gestielte oder seitlich angeheftete, meist fleischige Hüte, an deren Unterseite zahlreiche, mehr oder weniger stark vorspringende lamellenartige Vorsprünge von der Ansatzstelle aus radial ausstrahlen. Diese Lamellen sind auf beiden Flächen vom Hymenium überzogen. Man teilt die Agaricaceen mit ihren zahlreichen Gattungen wieder in mehrere Unterfamilien ein, für die auf die systematischen Spezialwerke verwiesen werden muß. Hier seien nur wenige Vertreter herausgegriffen: Cantharellus (C. cibarius, der eßbare Eierschwamm) besitzt niedrige faltenoder aderförmige und durch Queranastomosen verbundene Lamellen. Coprinus hat meist engglockige Hüte; bei der Reife zerfließen ihre Lamellen und meist auch der Hut zu einer tintenartigen Masse. Zur Gattung Lactaria, welche sich durch den Besitz von Milchsaft auszeichnet, gehört u. a. die als Speisepilz geschätzte Lactaria deliciosa, der Reizker. Unter den Vertretern der ehemaligen großen Gattung Aga-

ricus, die heute eine besondere Unterfamilie mit zahlreichen Gattungen bildet, seien erwähnt: Psalliota campestris, der vielfach auch in Kulturen gezüchtete Champignon. Verwechselungen desselben mit dem sehr giftigen Knollenblätterschwamm Amanita bulbosa haben oft tödlich verlaufende Vergiftungen zur Folge gehabt. Andere Amanita-Arten sind A. muscaria, der giftige Fliegenschwamm und A. caesarea, der eßbare Kaiserling. Armillaria mellea, deren Mycel Rhizomorphen bildet, ist einer der wichtigsten Baumschädlinge.

2. **Exobasidieen.** Die Exobasidieen bilden gewissermaßen das Gegenstück zu den Exoasceen unter den Ascomyceten. Ihr Mycel durchzieht die Gewebe höherer Pflanzen und ruft Anschwellungen von Stengeln und Blättern oder eigentliche Gallenbildungen hervor. Besonders auffällig sind z. B. die blassen oder rötlich gefärbten kugeligen Auswüchse, welche Exobasidium Rhododendri auf der Alpenrose verursacht, und die von Exobasidium Lauri hervorgerufenen geweihartigen Mißbildungen am Lorbeer. An diesen Anschwellungen treten die Hyphen des Parasiten zwischen den Epidermiszellen (bei Exobasidium) oder durch die Spaltöffnungen (bei Microstroma) nach außen. Hier entstehen zuweilen erst Conidienträger, dann die Basidien, welche die erkrankten Teile als Ueberzüge, Hymenien, bedecken (Fig. 74).



Figur 74. Exobasidium Vaccinii. Basidien b aus dem Gewebe von Vaccinium hervortretend. m Mycel, ep Epidermis, p Rindengewebe. Aus Woronin.

Jede Basidie (b) bildet auf ihrem Scheitel 4, seltener mehr Sterigmen mit je einer Spore (Fig 74 sp).

3. **Plectobasidii.** Die Basidien haben hier meistens rundliche Form und sind in großer Zahl ganz regellos im Fruchtkörperinnern eingelagert (Fig. 76). Dieses basidienführende Geflecht nennt man Gleba. Sie wird außen von einer Hülle (Peridie) umschlossen. Es entsprechen somit die Plectobasidii in ihrem Aufbau den Plectascineen. Freilich kennt man bei ihnen keine so einfachen Formen wie die Gymnoascaceen und Aspergillaceen, vielmehr entsprechen ihre Vertreter in bezug auf Größe und Gliederung ihrer Fruchtkörper teils den Elaphomycetaceen und Terfeziaceen, teils aber sind sie, speziell in bezug auf die Ausbildung ihrer Peridie, viel komplizierter. Die Gestaltung der reifen Fruchtkörper ist daher eine überaus mannigfaltige.

a) Sclerodermataceen. Ganz ähnlich wie bei Terfezia sind die gewöhnlich unterirdischen Fruchtkörper bei Melanogaster und Corditubera aufgebaut. Sie haben knollenförmige Gestalt, fleischige Konsistenz; die Peridie ist nicht scharf abgegrenzt und die Gleba enthält zahlreiche von sterilen Adern getrennte basidienführende Geflechtspartien. — Auch bei Scleroderma (Fig. 75, 76) wird die Gleba von zahlreichen

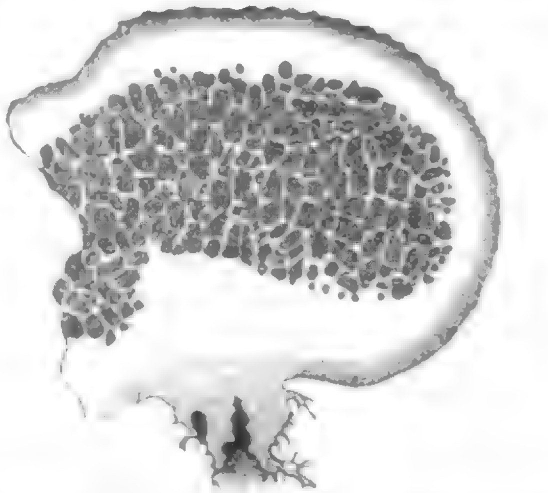


Fig. 75. Scleroderma vulgare. Längsschnitt durch einen jungen Fruchtkörper. Schwach vergrößert. Nach Tulasne.

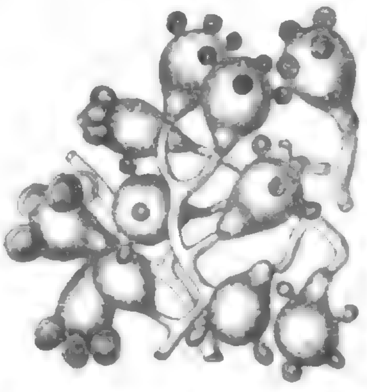


Fig. 76. Scleroderma vulgare. Stück aus der Gleba. Nach Tulasne.

sterilen Adern durchzogen, aber die Peridie ist scharf abgegrenzt, derb und oft brüchig, außen meist schuppig oder warzig, und der ganze Fruchtkörper wurzelt mit seiner zuweilen stielartig verlängerten Basis im Boden; zur Reifezeit zerfällt die Gleba in eine pulverige Sporenmasse. Ganz

gitized by Googl

ähnlich ist der Bau von Pisolithus, allein hier reift die Gleba sukzessive von oben nach unten; dabei trennen sich infolge von Verquellung der sterilen Adern die einzelnen basidien- resp. sporenführenden Geflechtspartien als kleine kompakte Körperchen voneinander und fallen, da auch die schwach ausgebildete Peridie schwindet, auseinander.

b) Calostomataceen. Hier kompliziert sich gegenüber der vorigen Gruppe der Fruchtkörperbau infolge von weitergehender Gliederung der Peridie. Der Fruchtkörper von Astraeus hygrometricus ist in seiner Jugend (Fig. 77,2) lebhaft gefärbte hohlkugelige Schicht K, an deren Scheitel schon früh eine sternförmige Mündung Z ausgebildet wird. Innen an dieser Mündung ist 3. das Endoperidium S befestigt. Von der knorpeligen Schicht K wächst nach unten in den Boden ein aus unregelmäßig verbogenen Strängen bestehender Fuß F, der sich allmählich verlängert und wohl den Fruchtkörper in die Höhe hebt. Beim Herannahen der Reife (Fig. 78 B) dehnt sich die knorpelige Schicht K stark aus, infolgedessen wird die äußerste, weiße Schicht aP zerrissen, und das Endoperidium S hängt schließlich als ein kleiner

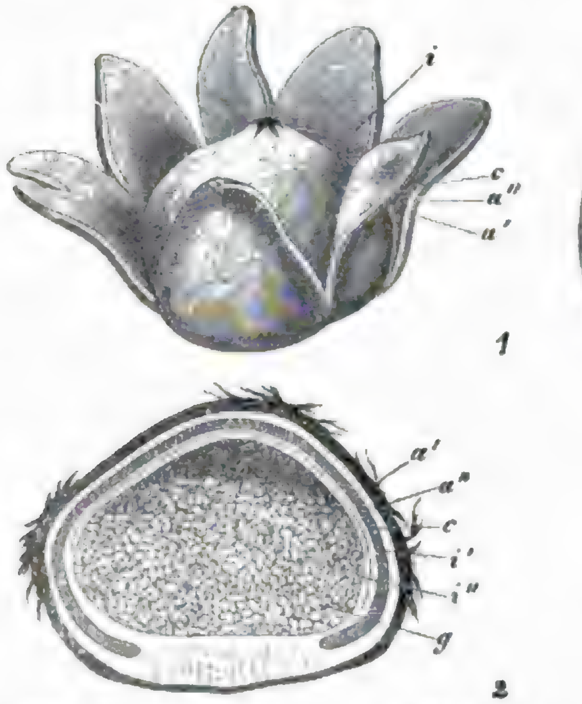


Fig. 77. Astraeus stellatus. 1 Reifer Fruchtkörper, 2 Junger Fruchtkörper im Längsschnitt. Nach F. v. Tavel und de Bary.

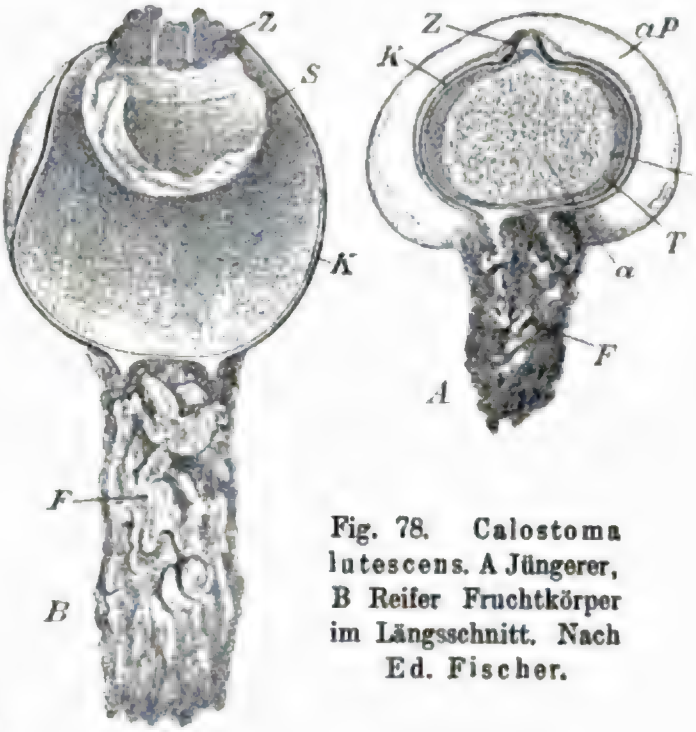


Fig. 78. Calostoma lutescens. A Jüngerer, B Reifer Fruchtkörper im Längsschnitt. Nach Ed. Fischer.

ein rundliches Knöllchen. Seine Peridie besteht aus zwei Schichten: einer inneren i', i'' (Endoperidium), die papierartig dünn ist, und einer äußeren (Exoperidium), die auf ihrer Innenseite knorpelig-hornig ist (c, a', a''). Beide lösen sich leicht voneinander und sind nur an der Fruchtkörperbasis fest verbunden. Bei der Reife des Fruchtkörpers reißt das Exoperidium vom Scheitel her in mehrere Lappen auf und breitet sich sternförmig aus, wodurch das kugelige Endoperidium bloßgelegt wird (Fig. 77, 1). Inzwischen hat sich das ganze Glebageflecht desorganisiert. Es bleiben von demselben schließlich nur noch die Sporen übrig und außer ihnen noch einzelne derbwandige Hyphen. Die Endoperidie des reifen Fruchtkörpers umschließt daher jetzt eine pulverige Sporenmasse, welche von derben Fasern durchzogen wird; diese letzteren bezeichnet man als das Capillitium. Die Sporen verstäuben schließlich durch eine scheitelständige Oeffnung der Endoperidie. — Noch weit komplizierter ist die Peridie von Calostoma (Fig. 78 A). Es lassen sich hier von außen nach innen folgende Lagen unterscheiden: 1. ein dickes weißes gelatinöses Geflecht aP, 2. eine derbe knorpelige und Sack innen an der Mündung frei herunter und entläßt das Sporenpulver.

c) Sphaerobolaceen. Sphaerobolus stellatus bewohnt faules Holz. Seine nur etwa 2 mm großen Fruchtkörper lassen von außen nach innen folgende Teile unterscheiden (Fig. 79): 1. eine dicke Lage von weißem gallertigem Geflecht M, 2. eine pseudoparenchymatische Schicht P, 3. eine Lage von dünnen festen Hyphen (Faserschicht F, T), 4. das „Receptaculum“ C aus radial gestellten inhaltreichen prismatischen Zellen bestehend, 5. die Gleba S. Letztere ist von undeutlichen sterilen Adern durchsetzt und nimmt zuletzt schleimige Beschaffenheit an; sie läßt sich dann sehr leicht vom Receptaculum trennen. Letzteres erfährt nun eine Flächenzunahme, mit der die Faserschicht nicht Schritt hält. Infolgedessen reißt die ganze Hülle des Fruchtkörpers vom Scheitel her sternförmig auf (Fig. 79, 2), wodurch der obere Teil der Gleba als kugeliges Gebilde freigelegt wird. Hierauf trennt sich (Fig. 79, 3) infolge weiter zunehmender Spannung die Faserschicht T von der außen an sie grenzenden Pseudoparenchymschicht P, und erstere, mit dem Receptaculum fest verbunden, stülpt sich ge-

Digitized by Google

waltsam und sehr rasch nach oben um, die Gleba S als kompakte Schleimkugel mit großer Kraft (bis über 1 m hoch) emporschleudernd.

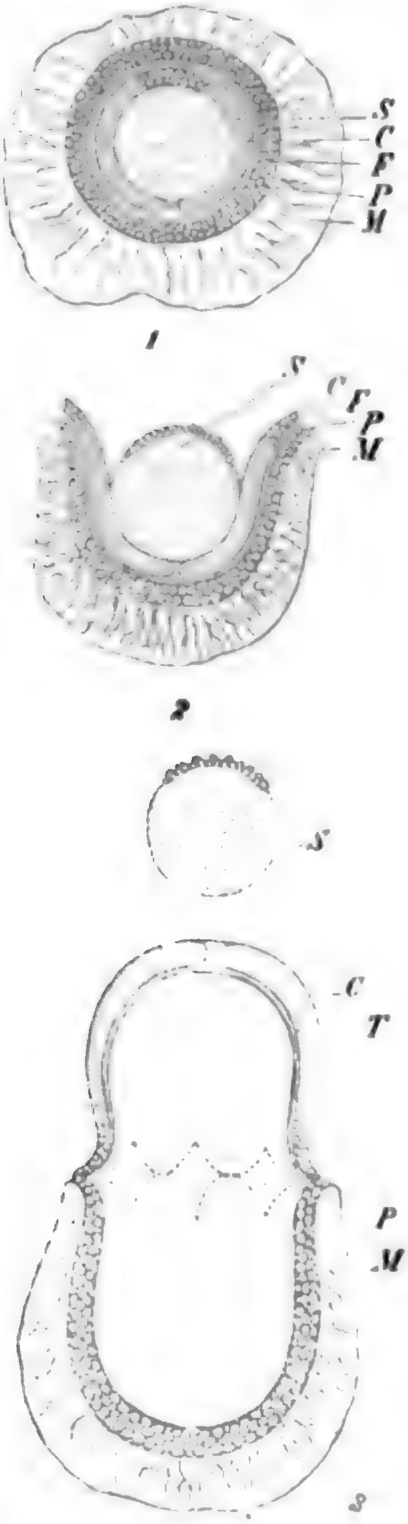


Fig. 79. Sphaerobolus stellatus. Schematische Darstellung des Baues des Fruchtkörpers und der Ausschleuderung der Gleba. Nach Ed. Fischer.

d) Tulostomataceen. Die Fruchtkörper von Tulostoma (Fig. 80) sind in ihrer Jugend unterirdische Knöllchen. Die Gleba weist keine sterilen Adern auf, sondern besitzt ganz gleichmäßig verteilte Basidien von zylindrischer Gestalt mit seitlich ansitzenden Sporen. (Fig. 80 c). Durch die Streckung eines kurz zylindrischen Hyphenkomplexes, der an der Basis des Fruchtkörpers liegt (Fig. 80 a), wird die kugelige Endoperidie mit der pulverigen, von Capillitium durchsetzten Sporenmasse auf einem Stiel in die Höhe gehoben (Fig. 80 b), während die Exoperidie unregelmäßig zerfällt. Sehr stattlich ist Batarrea, deren Stiel über 20 cm Länge erreichen kann. Die Gleba und die Endoperidie, welche auf diesem Stiel in die Höhe gehoben werden, haben hier glockige Gestalt.

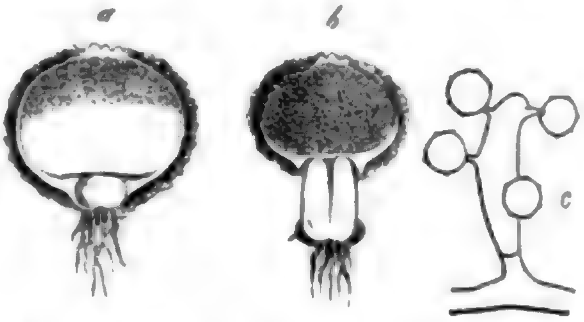


Fig. 80. Tulostoma. a Junger Fruchtkörper, b Beginn der Streckung des Stieles. Nach Vittadini. c Basidie. Nach Schröter.

4. Gastromyceten. Auch in dieser Gruppe findet man eine von einer Peridie umschlossene Gleba. Letztere besteht jedoch nicht aus einem Hyphengeflecht mit regellos eingebetteten Basidien, sondern sie ist von zahlreichen hohlen Kammern (Glebakammern) durchsetzt, deren Wand von einem Basidienhymenium überkleidet wird. Das Geflecht, welches die Scheidewände zwischen den Kammern bildet, bezeichnet man als Trama oder Tramaplatten. Im einzelnen zeigen die Fruchtkörper der Gastromyceten, namentlich zur Zeit ihrer völligen Reife, ein höchst verschiedenartiges Aussehen; oft erinnern sie in ihrer Form an Plectobasidii oder an Hymenomyceten. Diese Mannigfaltigkeit der Formen beruht auf erheblichen Verschiedenheiten in ihrer Entwickelungsgeschichte, und daraus läßt sich wiederum schließen, daß die Gastromyceten wohl kaum als eine phylogenetisch ganz einheitliche Gruppe anzusehen sind. Zunächst seien zwei Familien besprochen, die sicherlich den Hymenomyceten sehr nahe stehen:

a) Secotiaceen. Die Fruchtkörper von Secotium und einigen nahe verwandten Gattungen kann man am besten charakterisieren als Agaricaceen oder Polyporaceen mit zentralgestieltem Hute, bei welchen aber unter dem Hute, statt der Lamellen oder Poren, eine gekammerte Gleba auftritt. In der Jugend ist der Hut an seinem unteren Rande mit dem Stiel verbunden und bildet so eine die Gleba umschließende Peridie. Wie bei den Hymenomyceten, so kommen auch hier im Hymenium gelegentlich Cystiden vor.

Den Secotiaceen dürften nahestehen die

b) Podaxaceen, welche in trockenen Gebieten

gitized by Google

wärmerer Regionen leben. Die Fruchtkörper von **Podaxon** (Fig. 81) bestehen aus einem derb-

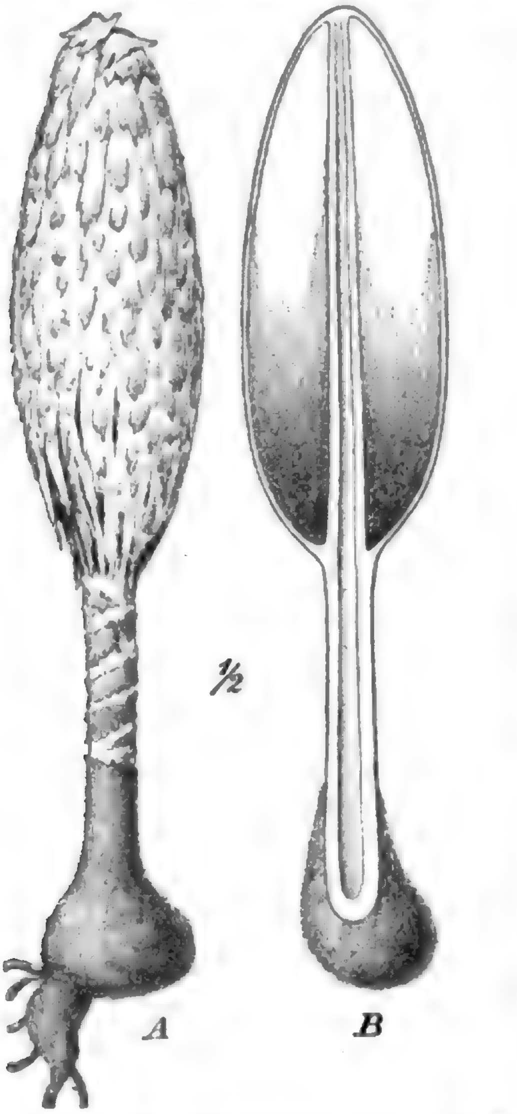


Fig. 81. **Podaxon carcinomalis.** A Außenansicht, B Längsschnitt des Fruchtkörpers. ½ natürlicher Größe. Nach **Schweinfurth.**

holzigen Stiel, der in seinem oberen Teile (**Columella**) von der ei- oder spindelförmigen Gleba umgeben wird, welche ihrerseits von einer brüchigen, schuppigen Peridie umschlossen ist. Letztere löst sich schließlich am Scheitel und am unteren Rande von der Columella los und reißt von unten her auf. Die Gleba ist nicht deutlich gekammert, sondern schwammig; statt eigentlicher Tramaplatten findet man Hyphenstränge, an denen die Basidien gruppenweise ansitzen. Die Reifung schreitet von unten nach oben fort, es findet dabei ein Zerfall in ein von Capillitiumfäden durchzogenes Sporenpulver statt.

c) **Hymenogastraceen.** Unter diesem Namen vereinigt man gewöhnlich die Gastromyceten mit knollenförmigen, meist unterirdischen Fruchtkörpern, deren Peridie einfach ausgebildet ist und deren Gleba bei der Reife verfault oder zerfließt. Die Entwickelungsgeschichte lehrt aber, daß man es auch hier nicht mit einer einheitlichen Gruppe zu tun hat, sondern wohl eher mit den Anfangsgliedern der nachher zu besprechenden Gastromycetenreihen: so können die Gattungen **Rhizopogon** und **Octaviania** (Fig. 82) und andere vielleicht als Vor-

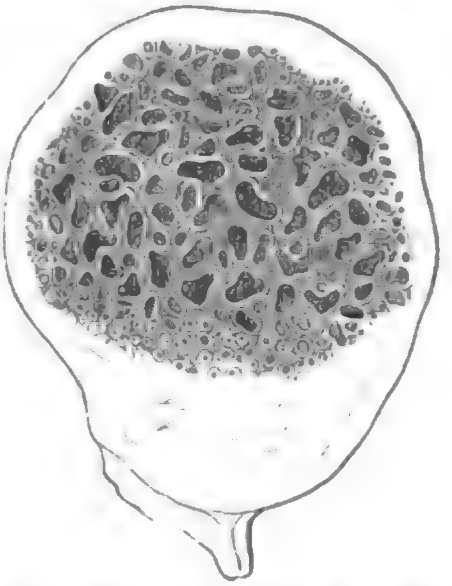
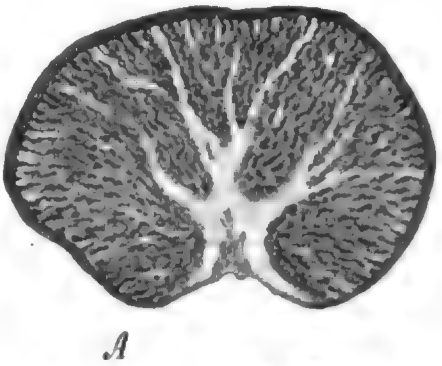


Fig. 82. Längsschnitt durch den Fruchtkörper von **Octaviania asterosperma.** 8mal vergrößert. Nach **Tulasne.**

läufer der Lycoperdaceen, eventuell auch der Nidulariaceen angesehen werden. Sie haben regellos angeordnete, labyrinthische oder rundliche Glebakammern, deren Tramaplatten sich



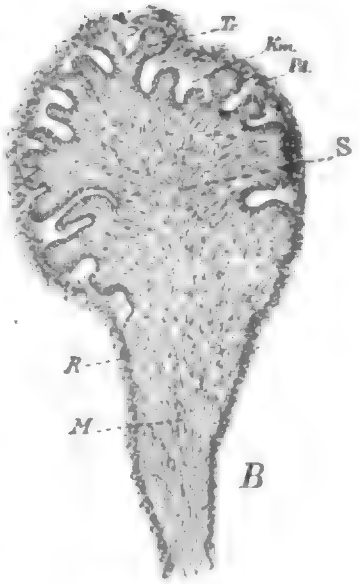


Fig. 83. **Hysterangium clathroides.** A Erwachsener Fruchtkörper im Längsschnitt. 2mal vergrößert. Nach Ed. **Fischer.** B Sehr junger Fruchtkörper im Längsschnitt, Tramaplatten als kleine Wülste (Tr) angelegt, die von dem Gallertgeflecht S ausstrahlen und unter der Peridie Pd blind endigen. Km Anlage der Glebakammern. 18 mal vergrößert. Nach **Rehsteiner.**

nach außen direkt in die Peridie fortsetzen. — Von Gautieria und Hysterangium (Fig. 83) ausgehend, läßt sich eine sehr schöne Formenreihe (Hysterangiaceen) bilden, die Schritt um Schritt zu den Clathraceen überleitet. Die Gleba entwickelt sich hier zentrifugal, indem die Tramaplatten von einem in der Achse der Fruchtkörperbasis liegenden gallertig-knorpeligen Hyphengeflecht nach allen Seiten strahlig auswachsen (Fig. 83). Bei Gautieria fehlt, wenigstens im erwachsenen Zustande, eine Peridie oft ganz; bei Hysterangium clathroides ist eine solche vorhanden, aber die Tramaplatten endigen unter derselben blind, so daß sie sich leicht ablösen läßt. Im oberirdischen birnförmigen Fruchtkörper von Phallogaster (Fig. 84)

Fig. 84. Querschnitt eines Fruchtkörpers von Phallogaster saccatus. S zentrale Gallertgeflechtpartie. Nach Ed. Fischer.

sind einzelne Tramaplatten P viel dicker als die anderen und verbreitern sich an ihrem Ende unter der Peridie mehr oder weniger schirmförmig (G); auf diese Weise entsteht hier eine ab und zu unterbrochene Schicht von knorpelig-gallertigem Geflecht, der wir dann bei den Clathraceen als Volvagallertschicht wieder begegnen.

d) Lycoperdaceen. Die Fruchtkörper der Lycoperdaceen sind oft sehr groß, bei Globaria Bovista können sie $^1/_2$ m Durchmesser erreichen. Ihre Gleba zerfällt zuletzt in eine pulverige, von meist stark entwickeltem Capillitium durchsetzte Sporenmasse, die schließlich verstaubt. Die Peridie besteht bei Bovista aus einer papierartigen Endoperidie und einer pseudoparenchymatischen Exoperidie; letztere zerfällt schließlich und erstere wird am Scheitel geöffnet. Aehnlich ist Lycoperdon (Fig. 85a), nur bleibt der untere Teil der Gleba hier steril und bleibt auch in der Reife als vertrocknetes gekammertes Geflecht erhalten. Komplizierter dagegen erscheint Geaster, indem hier die pseudoparenchymatische Exoperidie nach außen noch mit einer derbfaserigen Schicht verbunden ist. Infolge von Dehnung der pseudoparenchymatischen Schicht reißt zuletzt ähnlich wie bei Astraeus die Exoperidie vom Scheitel her sternförmig auf, ja sie kann sich sogar ganz nach unten zurückschlagen (Fig. 85b). Dadurch wird die Endoperidie als dunkles rundliches Gebilde bloßgelegt und kann nun den Sporenstaub entweder durch eine scheitelständige Oeffnung oder durch mehrere Löcher entlassen.

e) Nidulariaceen. Die zylindrisch-kreiselförmigen, auf faulem Holze lebenden Fruchtkörper von Cyathus und Crucibulum (Fig. 86) lassen, wenn man sie in jugendlichen Stadien untersucht, nur wenige rundliche, später abgeplattete Glebakammern erkennen. Später wird das Hyphengeflecht, das jede dieser Kammern unmittelbar umgibt, durch Verdickung der Membranen hart und fest, während das übrige zwischen den Kammern liegende Geflecht zerfließt. Zuletzt öffnet sich die Peridie becherartig, und an ihrem Grunde findet man jetzt die einzelnen Glebakammern als harte linsenförmige Körperchen (Peridiolen) wie kleine Eier in einem Nestchen, oft hängen sie noch durch einen Hyphenstrang mit der Wand des Bechers zusammen. Schließlich werden sie wahrscheinlich durch Tiere verschleppt.

Fig. 85. a Lycoperdon gemmatum, b Geaster granulosus. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

f) Clathraceen. Die Clathraceen bilden die unmittelbare Fortsetzung der Hysterangiaceenreihe (s. oben): An Phallogaster läßt sich Clathrus cancellatus (Fig. 87, 88), eine auffallende Pilzform des Mediterrangebietes, direkt anschließen. Der Unterschied besteht eigentlich

Figur 86. Crucibulum vulgare. Medianer Längsschnitt durch einen heranreifenden Fruchtkörper. Aus Sachs, Lehrbuch der Botanik.

nur darin, daß bei letzterem innen an der Volvagallertschicht G, und zwar jeweils an den Stellen Pl, wo sie Unterbrechungen zeigt, ein eigentümliches Gebilde, das sogenannte Receptaculum, auftritt (Fig. 87, Rp). Es ist das ein von sehr zahlreichen kleinen Kammern durchsetzter pseudoparenchymatischer Körper, der als Ganzes ein die Gleba umschließendes Gitterwerk bildet. Kurz vor der Reife der Gleba M sind seine Kammern eng zusammengedrückt, die Scheidewände zwischen denselben eng gefaltelt. Sobald nun der Fruchtkörper in das letzte Reifestadium tritt, glätten sich diese gefältelten Wände, das ganze Receptaculum dehnt sich gewaltig, und tritt als großes hohlkugeliges, meist rot gefärbtes Gitter (Fig. 88) aus der Peridie (Volva, V) hervor und hebt die im gleichen Zeitpunkte zerfließende Gleba in die Höhe. — Bei anderen Clathraceen nimmt die

Digitized by Google

Gleba nur den oberen Teil des Fruchtkörpers ein, während sich das Receptaculum als ein röhriger, ebenfalls pseudoparenchymatischer und gekammerter Stiel bis zur Basis fortsetzt. Dieser

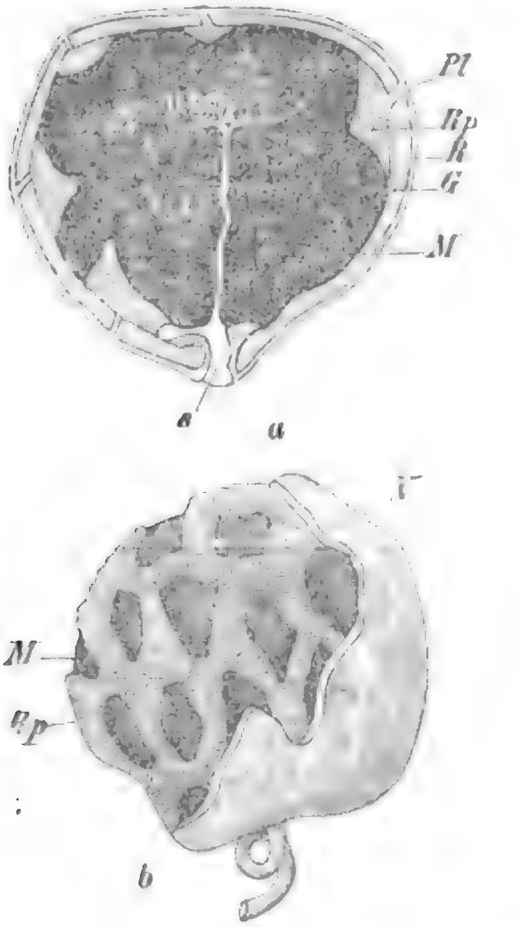


Fig. 87. Clathrus cancellatus. Junger Fruchtkörper. a Im Längsschnitt. Nach Ed. Fischer, b Nach Entfernung der Volvagallertschicht und Peridie, die Lage des Receptaculum zeigend. Nach Krombholz.

streckt sich bei der Reife und der gitterige obere Teil des Receptaculums samt der Gleba wird auf seinem oberen Ende in die Höhe gehoben. Dies ist z. B. bei Simblum der Fall. Bei **Anthurus** und Aseroë (Fig. 89) hängen die Aeste des Receptaculums nicht mehr gitterig zusammen, sondern stellen oben frei endigende Arme dar, die sich schließlich mehr oder weniger ausbreiten. Die eigentümlichen Formen und auffallenden Farben sowie die Gerüche oder richtiger gesagt Gestänke der Clathraceen- (und Phallaceen-)Fruchtkörper erinnern oft an Blumen, daher der Ausdruck „Pilzblumen".

g) Phallaceen. Auch hier finden wir im Fruchtkörper neben der Gleba ein Receptaculum. Es ist überhaupt der Bau der sämtlichen Teile genau der gleiche wie bei den Clathraceen; man pflegt daher meistens beide Gruppen unter dem Namen Phalloideen in eine einzige zu vereinigen. Wenn wir sie hier trennen, so geschieht es deshalb, weil die Entwickelungsgeschichte der Fruchtkörper es nicht gestattet, die Phallaceen (wie dies für die Clathraceen der Fall ist) direkt an die Hysterangiaceen anzuschließen; vielmehr ergeben sich hier Verhältnisse, die eher an die mit Velum universale versehenen Agaricaceen oder an die Secotiaceen erinnern.

Fig. 88. Clathrus cancellatus. Mit fertig gedehntem Receptaculum. Nach Ch. Fayod.

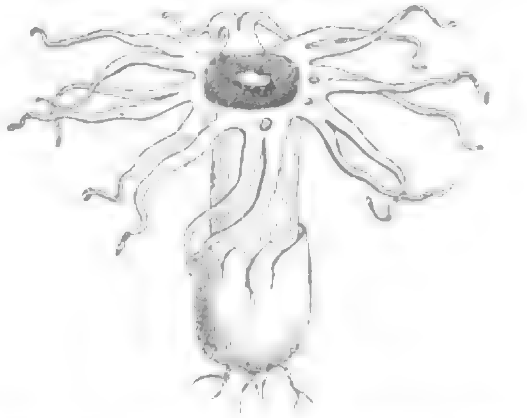


Fig. 89. Aseroë rubra. $\frac{1}{2}$ natürlicher Größe. Nach Berkeley.

Das Receptaculum liegt bei den Phallaceen (Fig. 90) in der Achse des Fruchtkörpers und die Gleba umgibt dasselbe wie ein Zylindermantel oder eine oben offene Glocke. Wenn sich nun zur Zeit der Reife das Receptaculum streckt, so liegt ihm die zerfließende Gleba als breiige Sporenmasse außen auf. Im einzelnen zeigt das Receptaculum auch hier verschiedene Formen: bei Mutinus besteht es nur aus einem spindelförmigen Stiel, dessen oberer Teil von der Sporenmasse direkt bedeckt wird. **Phallus** trägt am oberen Ende des Stieles noch einen glockenför-

migen Hut (Fig. 90t, 91), auf dessen Außenseite die Sporenmasse liegt. Bei Dictyophora endlich hängt unter diesem Hute noch ein schleier- oder auerstrumpfartiges netziges Gebilde, das Indusium, hervor (Fig. 92).

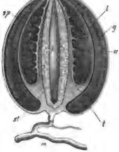


Fig. 90. Phallus impudicus. Längsschnitt durch einen jungen Fruchtkörper. st Stiel des Receptaculums, h dessen Höhlung, t Rand des Hutes, sp Gleba, i, g, a Volva, m Mycelstrang. Aus Sachs, Lehrbuch der Botanik.

Anhang: Fungi imperfecti.

Das System der Pilze, welches der obigen Darstellung zugrunde liegt, beruht auf der Vergleichung des Entwickelungsganges der einzelnen Pilzformen und es spielen in denselben die Fruchtformen, welche mit den geschlechtlichen und Reduktions-Vorgängen im Zusammenhange stehen, die Hauptrolle. Neben diesen Hauptfruchtformen kommen aber, wie wir gesehen haben, sowohl bei den Phykomyceten als auch bei den Ascomyceten und Basidiomyceten mannigfaltige Conidienbildungen vor, denen man es aber, wenn man sie für sich allein findet, nicht ansehen kann, ob sie zur einen oder anderen dieser Gruppen oder ihren Untergruppen gehören.

Fig. 91. Phallus impudicus. Fertig entwickelter Fruchtkörper. $\frac{1}{2}$ natürlicher Größe. Aus Strasburger, Lehrbuch der Botanik.

Fig. 92. Dictyophora phalloidea. $^2/_3$ natürlicher Größe. Nach A. Möller.

Digitized by Google

Pilze, für die man nur die Conidienbildungen kennt, lassen sich daher im Pilzsystem nicht unterbringen, es sind Fungi imperfecte cogniti oder, wie man sie gewöhnlich nennt, Fungi imperfecti. Da man diese aber schließlich doch auch irgendwie benennen und klassifizieren muß, so hat man für sie ein provisorisches System gebildet. Die Hauptgruppen desselben sind folgende:

I. Sphaeropsideen. In dieser Gruppe faßt man alle Formen zusammen, bei denen die Conidien in Pykniden entstehen.

II. Melanconieen: Formen, deren Conidien auf einem Stroma entstehen.

III. Hyphomyceten: Formen, deren Conidien auf Conidienträgern entstehen oder Oidien oder Chlamydosporen darstellen.

Für die weitere Einteilung sei auf die systematischen Werke verwiesen. Eine Reihe von praktisch wichtigen Formen aus diesen Gruppen sind im Artikel „Pflanzenkrankheiten" angeführt.

Literatur. *a) Allgemeines:* **A. de Bary,** *Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze. Leipzig 1884.* — **W. Zopf,** *Die Pilze in morphologischer, physiologischer, biologischer und systematischer Beziehung. Breslau 1890.* — **F. von Tavel,** *Vergleichende Morphologie der Pilze. Jena 1892.* — **J. P. Lotsy,** *Vorträge über botanische Stammesgeschichte. I. Algen und Pilze. Jena 1907.* — **F. Lafar,** *Handbuch der technischen Mykologie. Jena 1904 ff.* — **L. R. Tulasne,** *Fungi hypogaei. Paris 1851. Ed. 2, 1863.* — **L. R. et Ch. Tulasne,** *Selecta Fungorum Carpologia. Paris 1861, 1863, 1865.* — **A. de Bary und M. Woronin,** *Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pilze. Abhandl. der Senckenberg. Naturf. Gesellschaft. Frankfurt a. M. 1864 bis 1881.* — **O. Brefeld,** *Untersuchungen aus dem Gesamtgebiet der Mykologie I bis VIII. Leipzig 1872 bis 1889; IX bis XV. Münster 1891 bis 1912.* — **L. Vuillemin,** *Les bases actuelles de la systematique en Mycologie. Progressus rei botanicae II, p. 1—170, 1908.* — *b) Spezielles:* **Engler und Prantl,** *Die natürlichen Pflanzenfamilien. 1. Teil, Abteilung 1 und 1**. Leipzig 1897 und 1900.* — **P. A. Saccardo,** *Sylloge Fungorum omnium hucusque cognitorum. Vol. I bis XVIII. Patavii 1882—1906.* — **L. Rabenhorst,** *Kryptogamenflora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz. 2. Aufl., Bd. I: Pilze. 1881 bis 1910.* — **J. Schröter,** *Die Pilze Schlesiens in Cohn, Kryptogamenflora von Schlesien. Bd. III, 1889 und 1908.* — *Kryptogamenflora der Mark Brandenburg. Bd. 5, 5a, 6, 7 Pilze. Leipzig 1905 ff.* — *Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz. Bd. II 2, III 1, 2. Bern 1904, 1908, 1911.* — **Fr. Bubák,** *Die Pilze Böhmens. Archiv der naturwissenschaftlichen Landesdurchforschung von Böhmen. I. Teil. Prag 1908.* — *Flora Italica Cryptogama. Pars I, Fungi. Rocca S. Casciano 1905 ff.* — *c) Bibliographisches:* **G. Lindau et P. Sydow,** *Thesaurus litteraturae mycologicae et lichenologicae. Vol. I et II. Lipsiae 1908 et 1909.* — *Die Abbildungen sind teils direkt den Originalarbeiten, teils den zitierten Werken von de Bary, von Tavel, Engler und Prantl, Rabenhorst, ferner Strasburgers Lehrbuch der Botanik und einigen anderen Publikationen entnommen.*

Ed. Fischer.

Pisces,

die durch ihre Schuppenbekleidung ausgezeichnete, gewöhnlich mit 2 Flossenpaaren versehene, kiemenatmende Gruppe der Wirbeltiere (vgl. den Artikel „Fische").

Plankton.

1. Begriffsbestimmung. 2. Fangmethoden. 3. Anpassungen an das Schweben. 4. Beziehungen zum Salzgehalt und zum osmotischen Druck des Wassers. 5. Beziehungen zum Boden und zu der littoralen Flora und Fauna. 6. Abhängigkeit von der Temperatur. 7. Beziehungen zum Licht. Vertikale Verbreitung. 8. Ernährung und Stoffwechsel. 9. Geographische Verbreitung, passive Wanderungen.

1. Begriffsbestimmung. Plankton ist ein Sammelbegriff für alle diejenigen Pflanzen und Tiere, die in freiem Wasser (pelagisch) leben, und deren Eigenbewegung nicht so stark ist, daß sie sich von den Bewegungen des Wassers unabhängig machen könnten. Der Begriff wurde 1887 von Hensen eingeführt, um alle die verschiedenen pelagischen Organismen, die von den Spezialforschern beschrieben waren, als eine einheitliche Lebensgemeinde zusammenzufassen und die Fragen über die physiologische Zusammenwirkung der einzelnen Komponenten angreifen zu können. Im Gegensatz zum Plankton steht nach Häckels Nomenklatur einerseits das Benthos, das Leben an und auf dem Boden der Gewässer, andererseits das Nekton, die größeren, lebhaft beweglichen pelagischen Tiere, die von den Strömungen des Wassers unabhängig sind. Die Grenzen zwischen diesen Begriffen können nicht scharf gezogen werden; es gibt viele Pflanzen und Tiere, die sowohl pelagisch als auch am Boden leben können und also bald dem Plankton, bald dem Benthos angehören; und es gibt alle möglichen Uebergänge zwischen den kleinsten pelagischen Tieren mit langsamer oder richtungsloser Bewegung und den besten Schwimmern des Meeres, wie den Makrelen und den großen Tintenfischen.

Praktisch bezeichnet man mit dem Plankton diejenigen pelagischen Organismen, die durch Filtrieren des Wassers gefangen werden können, indem Netze durch das Wasser gezogen werden oder einge-

Digitized by Google

schöpfte Wasserproben durch Netze oder andere Apparate filtriert werden. Die größeren Tiere, die nur mit grobmaschigen, leicht filtrierenden und rasch gezogenen Netzen sicher gefangen werden, können unter der Bezeichnung **Makroplankton** zusammengefaßt werden; die kleinsten Organismen (Protozoen und Algen), die durch die Maschen der feinsten Seidengaze (Müllergaze Nr. 25, Maschenweite 0,04 bis 0,05 mm) durchschlüpfen, bilden das **Nannoplankton**. Für die mittelgroßen Tiere und Pflanzen, die mit dem gewöhnlichen Netze leicht gefangen werden, hat man die Namen **Mesoplankton** und **Mikroplankton** eingeführt; diese Begriffe haben jedoch keine scharfe Definition erhalten. Einfacher können diese Gruppen unter dem Namen Netzplankton zusammengefaßt werden.

Da das freie Wasser außer den lebenden Organismen auch verschiedene leblose feste Körper in suspendiertem Zustande enthält, die für die Oekonomie des Wassers wesentliche Bedeutung haben können, hat neuerdings Kolkwitz es nützlich gefunden, einen neuen Begriff **Seston** einzuführen, der alles schwebende, tot und lebend, umfassen soll; Plankton wird dann einen Teil des Sestons, die lebenden Organismen, umfassen. Die Pflanzen des Planktons können unter dem Namen **Phytoplankton**, die Tiere als **Zooplankton** zusammengefaßt werden.

Die Planktonorganismen sind meistens gegen Veränderungen in der Umgebung sehr empfindlich; es gelingt nur schwer, sie unter verschiedenen Lebensbedingungen zu züchten. Wenn wir wissen wollen, wie die einzelnen Arten und die Pflanzen- und Tiervereine von den äußeren Lebensbedingungen abhängig sind, sind wir darauf hingewiesen, Plankton aus verschiedenen Gebieten zu verschiedenen Jahreszeiten zu sammeln und zu untersuchen, indem gleichzeitig Beobachtungen ausgeführt werden über die physikalischen und chemischen Verhältnisse in den durchfischten Wasserschichten.

2. Fangmethoden. Die ersten Forscher, die die pelagischen Organismen studierten, sammelten die Tiere einzeln an der Meeresoberfläche oder untersuchten das Seewasser direkt unter dem Mikroskop. Johannes Müller führte das feinmaschige Netz ein, das seitdem in verschiedenen Modifikationen der Hauptapparat bei der Planktonfischerei wurde. Das meistens konische Netz wird durch das Wasser bald horizontal, bald vertikal gezogen; das Wasser filtriert durch das Netztuch und ein Teil der Organismen wird von den Maschen zurückgehalten und am schmalen Ende des Netzes gesammelt. Die Maschenweite des Netzes kann variiert werden, je nachdem größere oder kleinere Organismen gefangen werden sollen; damit die gefangenen Tiere und Pflanzen so wenig wie möglich geschädigt werden, wird am hinteren Ende des Netzes ein Eimer von verschiedener Konstruktion angebracht, wo der Fang nach dem Aufheben aus dem Wasser noch in einer passenden Wassermenge suspendiert bleiben kann. Für Untersuchungen in der Tiefe sind Schließnetze von verschiedener Konstruktion eingeführt worden; die am meisten verwendeten Typen (von Apstein und Nansen, das „Helgoländer Brutnetz") sind darauf eingerichtet, offen heruntergelassen zu werden; es wird nur durch genügende Beschwerung dafür gesorgt, daß die geschlossene Spitze vorangeht. Nachdem das Netz eine Strecke vertikal oder horizontal gezogen worden ist, wird es durch ein Fallgewicht geschlossen. Auf ruhiger See können diese Apparate vollkommen zuverlässig arbeiten, wie durch Kontrolluntersuchungen festgestellt werden kann. Andere Schließmechanismen, durch welche das Netz in geschlossenem Zustande heruntergelassen, in der Tiefe geöffnet und nach dem Fischen in der Tiefe wieder geschlossen wird, sind auch verwendet worden, darunter das Palumbo-Netz der „Vettor Pisani"-Expedition, das Chun-Petersensche vertikale Schließnetz und Garstangs Schließnetz für Horizontalfänge. Die Mechanismen sind meistens so kompliziert, daß sie nur bei ruhiger See zuverlässig arbeiten.

Verschiedene Netze sind auch konstruiert um bei voller Fahrt Plankton zu fischen; die Eingangsöffnung für das Wasser wird dann sehr klein gemacht im Verhältnis zur filtrierenden Netzoberfläche, die außerdem in verschiedener Weise geschützt wird („Filet Buchet", Hensens Korbnetz, Borgerts Netz, Apsteins Planktonröhre, Knudsens und Ostenfelds Horizontalnetz).

Denselben Zweck erreichte Hensen noch einfacher, indem er Seewasser mit der Schiffspumpe auf das Schiffsdeck pumpen ließ und dasselbe direkt an der Röhre durch kleine Seidennetze filtrierte. Nach dieser Methode hat Cleve ein großes Material von dem Atlantischen Ozean sammeln lassen.

Als Netztuch wird gewöhnlich für die kleineren Organismen Seidengaze verschiedener Maschenweite verwendet; die feinste Gaze, Nr. 25 der Schweizer Fabriken mit einer Maschenweite von 0,04 bis 0,05 mm Diameter, läßt noch eine ganze Reihe der kleinsten Organismen durch; sie können gefangen werden durch Filtrieren durch Seidentaffet oder gehärtete Filter nach Lohmanns Vorschlag, oder durch Sandfilter (Sedgwick-Rafters Methode); noch reiner arbeitet die Zentrifuge, durch welche die

Digitized by Google

empfindlichsten kleinen Formen wie Coccolithophoriden und nackte Flagellaten intakt zur Untersuchung kommen können; diese Methode wurde schon 1895 von Cori und später von anderen (Dolley, Kofoid u. a.) versucht, aber erst in den letzten Jahren von Lohmann zur Vollkommenheit ausgearbeitet. Die meisten Arten sammeln sich am Boden der Zentrifugengläser; nur wenige (Halosphaera, Pyrocystis, Cyanophyceen) können nicht sedimentiert werden.

Andererseits sind die gewöhnlichen Netze zu klein, um die größeren Planktonorganismen (Fische, Tintenfische, Dekapoden u. a.), die nur vereinzelt umherschwimmen, in genügender Menge zu fangen. Für diesen Zweck werden große, grobmaschige Netze mit weiter Oeffnung nach dem Modell des Ottertrawls verwendet (Monacos pelagischer Trawl, C. G. Joh. Petersens Brutnetz, Helgoländer Dreischerbretternetz). Im offenen Atlantischen Ozean, wo eine große Zahl von Fischarten nur sehr zerstreut vorkommen, konnte Hjort ihre Verbreitung in der Tiefe studieren, indem er bis 10 größere Netze gleichzeitig in verschiedenen Tiefen mehrere Stunden lang schleppte.

Wenn die Verbreitung des Planktons nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ bestimmt werden soll, wird es erstens notwendig, die Quantität der filtrierten Wassermenge zu kennen. Hensen suchte dieses Ziel zu erreichen dadurch, daß die Netze eine im Verhältnis zur Eingangsöffnung große filtrierende Fläche erhielten, damit vom einströmenden Wasser möglichst viel wirklich filtriert werden konnte. Etwas wird immer zurückfließen, aber für jede Netzkonstruktion kann ein Filtrationskoeffizient experimentell bestimmt werden. Die Netze werden vertikal eine genau bestimmte Strecke gezogen und das Volum des filtrierten Wassers kann leicht berechnet werden. Nur diejenigen Organismen können in dieser Weise bestimmt werden, die von den Maschen des Netzes sicher zurückgehalten werden; auch für diese dürfen die Resultate nur mit Vorsicht benutzt werden, da namentlich die feinmaschigen Netze durch Gebrauch allmählich ihren Filtrationskoeffizienten verändern, indem die Maschen durch schleimige Algen und Tiere zugestopft werden. Sicherer ist es, das Wasser durch Pumpe oder Wasserschöpfer zu sammeln und eine gemessene Quantität durch das Netz zu filtrieren. Die größeren, lebhaft beweglichen Tiere können aber in dieser Weise kaum gefangen werden.

Fig. 1. Hensens großes Planktonnetz.

Der nach dieser Methode gesammelte Fang wird quantitativ untersucht durch Bestimmung des Volums oder des Trockengewichts, wenn man eine vorläufige Uebersicht über den relativen Reichtum haben will; wenn es aber die Aufgabe ist, die Variationen in der quantitativen Verteilung der einzelnen Arten kennen zu lernen, muß nach Hensens Vorschlag ein bestimmter Teil des ganzen Fanges, durch eine gemessene Stempelpipette aufgesaugt, unter dem Mikroskop durchgezählt werden.

Die kleinsten Organismen (das Nannoplankton), die durch die Netze nicht sicher gefangen werden, können quantitativ bestimmt werden, indem eine gemessene Wassermenge durch dichte Filter filtriert und ein bestimmter Teil des Rückstandes durchgezählt wird. Noch besser ist die von Lohmann ausgearbeitete Zentrifugiermethode, durch welche die gesammelte Planktonmenge einer gemessenen Wasserprobe in einem Tropfen in der Zählkammer unter das Mikroskop gebracht werden kann. An den Küsten und in den reichen Süßwasserseen kann das Wasser so dicht mit Plankton gefüllt sein, daß nur 10 bis 15 ccm zentrifugiert werden dürfen, damit die Organismen unter dem Deckglas nicht dichter liegen, als daß die Untersuchung leicht und sicher ausgeführt werden kann. Hier kann schon 1 ccm genügen, um ein Bild der kleinsten Lebewelt zu geben; Kolkwitz konnte solche Bestimmungen in der Weise ausführen, daß er die Wasserprobe direkt in eine Zählkammer von 1 ccm sammelte und ohne Konzentrieren untersuchte. Unter anderen Bedingungen wie im offenen Meere und in größeren Tiefen sind aber die Organismen so spärlich vorhanden, daß erst Wasserproben von 100 bis 300 ccm eine zuverlässige Untersuchung über die Quantität des Nannoplanktons gestatten. Die Handzentrifuge, die an den Küsten gebraucht wird, genügt dann nicht mehr. Gran brauchte während der „Michael Sars“-Expedition 1910 eine große Zentrifuge, mit Dampfmaschine betrieben, die gleichzeitig 1200 ccm auf 6 Gläser verteilt sedimentieren konnte. Dadurch konnten auf offener See fortwährend quantitative Untersuchungen über das lebende Nannoplankton in ver-

Digitized by Google

schiedenen Tiefen ausgeführt werden. Lohmann ließ auf der Fahrt nach Buenos Ayres mit der „Deutschland" 1911 eine elektrisch getriebene Zentrifuge einrichten, die 4000 Umdrehungen in der Minute machte

Keine Methode erlaubt gleichzeitig alle verschiedenen Organismen des Planktons quantitativ zu bestimmen; die kleinsten sind meistens so dicht und regelmäßig verteilt, daß schon eine geringe Wassermenge eine repräsentative Auswahl enthält; die größeren leben so zerstreut, daß ihre quantitative Verbreitung nur durch Filtrieren von großen Wassermengen untersucht werden kann.

3. Anpassungen an das Schweben. Der wichtigste biologische Unterschied zwischen den Planktonorganismen und ihren Verwandten am Boden wird durch ihr Schweben im Wasser bedingt. Ihre Schwere muß vom Wasser getragen werden, oder wenn sie spezifisch schwerer als das Wasser sind, müssen sie sich durch Energieaufwand, durch aktive Bewegung, schwebend halten. Das spezifische Gewicht der meisten Planktonorganismen ist schon deshalb wenig von demjenigen des Wassers verschieden, weil ihr Körper zum größten Teil aus Wasser besteht; bei Medusen kann der Wassergehalt bis über 95% steigen. Von den anderen Stoffen, aus welchen der Körper aufgebaut wird, oder welche als Stoffwechselprodukte vorkommen können, sind zwar die meisten spezifisch schwerer als das Wasser; leichter ist nur das Fett, das gerade bei den pelagischen Pflanzen und Tieren allgemein vorkommt, und Gase, die als Blasen innerhalb des Körpers (Schwimmglocken der Siphonophoren, Schwimmblasen der meisten Fische) und an der Oberfläche desselben ausgeschieden werden können. Viele Planktonorganismen können ihr spezifisches Gewicht durch Wasseraufnahme, Fettproduktion oder Luftsekretion innerhalb gewisser Grenzen selbständig regulieren. Wenige sind normal darauf eingestellt, durch ihr geringes spezifisches Gewicht an die Oberfläche zu steigen (Siphonophoren, Halosphaera, Pyrocystis); die meisten haben ein gleiches oder etwas größeres spezifisches Gewicht als das umgebende Wasser.

Die Wirkungen des Uebergewichts müssen von den Organismen selbst überwunden werden; die meisten können aber einen großen Teil der dazu nötigen Energie sparen, weil ihr Körper durch seine Form gegen das Sinken Widerstand leistet. Wie W. Ostwald es den Biologen auseinandersetzte, ist die Sinkgeschwindigkeit einerseits von der spezifischen Oberfläche des Körpers, andererseits in jedem Augenblick von der horizontalen Projektion des Körpers abhängig. Ein kleiner Körper wird langsamer sinken als ein großer von derselben Form und demselben spezifischen Gewicht, weil seine Oberfläche relativ größer ist; und ein flacher Körper wird am langsamsten sinken, wenn die Ebene, in welcher er seine größte Ausdehnung hat, horizontal steht.

Wenn wir das Problem verfolgen wollen, wie die Planktonorganismen für das Schweben angepaßt sind, und wie sie sich aktiv anpassen können, sind wir meistens darauf angewiesen, die Formvariationen mit dem Wechsel in den äußeren Bedingungen zu vergleichen. Wie Ostwald gezeigt hat, sind nicht allein die Variationen im spezifischen Gewicht des Wassers in Betracht zu ziehen, viel größer sind die Verschiedenheiten in der inneren Reibung (Viscosität) des Wassers. Ein Körper sinkt langsamer in einer Gummilösung als in einer Salzlösung von demselben spezifischen Gewicht. Die Viscosität des reinen Wassers ist bei 25° nur halb so groß als bei 0°; mit steigendem Salzgehalt nimmt die Viscosität zu, aber nur langsam: 1% NaCl vergrößert sie nur um 1,7 bis 3,6%. Die Temperatur wird also den entscheidenden Einfluß haben; im warmen Wasser werden die Körper viel schneller sinken als im kalten, nicht nur wegen des geringeren spezifischen Gewichts, sondern noch mehr wegen der herabgesetzten Viscosität.

Das Phytoplankton besteht meistens aus einzelligen Organismen, Bakterien, Flagellaten und Algen; die Individuen sind meistens so klein, daß sie nicht oder nur schwierig mit dem bloßen Auge entdeckt werden können. Die wenigen größeren Algen, die an der Meeresoberfläche flottieren können (Fucus, Ascophyllum, Cystosira, Sargassum, Macrocystis) sind von der Küste weggetrieben und gehören eigentlich nicht zum Plankton, da sie sich im freien Wasser nicht fortpflanzen können und früher oder später zugrunde gehen müssen; wenn man sie mitrechnen will, muß man sie als erratisches oder sekundäres Plankton bezeichnen.

Die Kleinheit der Individuen muß schon, wie Schütt gezeigt hat, als eine Anpassung an das pelagische Leben angesehen werden; ihre Nährstoffe sind im Wasser gelöst und gleichmäßig verteilt; sie werden am besten ausgenutzt, wenn die absorbierenden Zellen möglichst weit auseinander rücken. In dieser Weise sind die Pflanzenzellen auch am besten dagegen geschützt, durch Tierfraß vernichtet zu werden. Das pelagische Leben kann also für die Entwickelung einer höheren Organisation bei den Pflanzen nicht günstig sein.

Trotzdem die pelagischen Algen durchgehend sehr klein sind, findet man schon bei ihnen die Oberflächenvergrößerung sehr weit betrieben, so daß man mit Schütt von Schwebeorganen verschiedener Art sprechen

kann. Am deutlichsten entwickelt sind diese bei den Diatomeen, deren verkieselte Zellwand schon ziemlich viel zum Uebergewicht beiträgt. Die Zellwand ist jedoch sehr dünn im Verhältnis zu derjenigen der Bodenformen; die Beweglichkeit, die bei vielen Bodenformen durch fein gebaute Organe zustande kommt, fehlt den meisten Planktonformen. Nach den Schwebevorrichtungen können die Formen in die folgenden 4 Typen eingeteilt werden:

1. Blasen- oder Trommeltypus. Die Zelle ist verhältnismäßig groß, aber Zellwand und Protoplasma bilden nur dünne Membranen um eine große Vakuole, gefüllt mit Zellsaft von ungefähr demselben spezifischen Gewicht wie das umgebende Wasser. Charakteristische Beispiele bilden die größeren Coscinodiscusarten; die oft sehr dünne Zellwand ist mit durchgeführter Materialersparnis durch ein Netzwerk von hexagonalen Maschen verstärkt. Die größte Art C. rex (Antelminellia gigas) kann über 1 mm im Durchmesser werden.

2. Blattypus. Der Körper ist flachgedrückt und außerdem etwas gedreht, so daß der Widerstand des Wassers bei dem Sinken die Zellfläche horizontal richtet. Dieser Typus ist unter den Diatomeen relativ

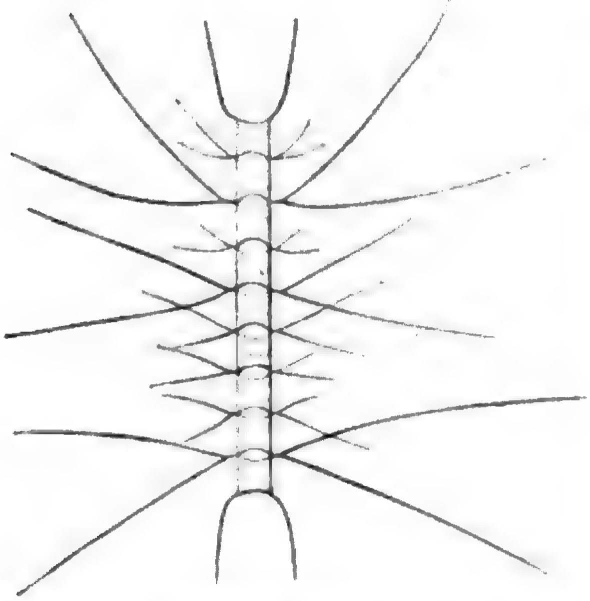


Fig. 2. Kette von Chaetoceras decipiens Cleve. 120:1.

selten; scheibenförmige Zellen (Planktoniella) und bandförmige Kolonien (Fragilaria) kommen jedoch vor. Unter den Peridineen gibt es sehr gute Beispiele (Ceratium gravidum, cephalotum, platycorne).

3. Fadentypus. Der Körper ist in eine Richtung gestreckt, oft etwas gedreht oder mit schiefer Spitze, wie bei Rhizosolenia, so daß bei Vertikalstellung der Widerstand des Wassers die Zelle bald wieder horizontal stellen wird.

4. Verzweigter Typus. Die Oberfläche ist dadurch vergrößert, daß Auswüchse nach verschiedenen Richtungen ausstrahlen. Bei den Algen werden diese Strahlen oft dadurch gebildet, daß stabförmige Zellen zu Kolonien vereinigt werden; bei der Gattung Chaetoceras hat jede Zelle 4 fadenförmige Auswüchse, und außerdem sind die Zellen sehr oft zu Ketten vereinigt, so daß die Borsten in allen Richtungen ausstrahlen.

Außerdem kann die Oberfläche in verschiedener Weise durch Ausscheidung von Gallertfäden und Membranen vergrößert werden.

Die pelagischen Diatomeen, als Familie betrachtet, kommen am zahlreichsten vor bei nicht zu hoher Temperatur; die Kaltwasserformen sind schon mit allen möglichen Formen von Schwebeapparaten ausgestattet, und es kann nicht behauptet werden, daß die speziellen Warmwasserformen in dieser Beziehung eine höhere Entwickelung zeigen. Dagegen ist es nachgewiesen worden, daß gewisse Arten, die unter verschiedenen Lebensbedingungen vorkommen können, in der Wärme viel leichter und schlanker gebaut werden als in der Kälte. Ein deutlicher Dimorphismus mit einer dickwandigen Winterform und einer dünnwandigen Sommerform wurde im Süßwasser zuerst von O. Müller bei Melosira gefunden; ähnliche Verhältnisse sind später im Meere bei Rhizosolenia (Gran) und Eucampia balaustium (Karsten) beschrieben worden. Eine allmähliche Selbstregulierung der Schwebefähigkeit ist wahrscheinlich sehr allgemein vorhanden, aber schwierig mit Sicherheit nachzuweisen. Bei kettenbildenden Chaetocerasarten werden bei hoher Temperatur die Lücken zwischen den Zellen vergrößert und die Borsten sehr fein und schwach verkieselt.

Bei den Peridineen ist die Zelle beweglich, und mehrere Formen aus solchen Gattungen wie Peridinium und Gonyaulax haben keine besonderen Schwebeorgane. Bei der großen, in allen Meeren verbreiteten Gattung Ceratium sind aber die drei (seltener nur zwei) Fortsätze in verschiedener Weise weit ausgebreitet, bei einigen Arten sogar plattgedrückt oder verzweigt. Die größte Mannigfaltigkeit der Schwebeorgane findet man bei den Warm-

Fig. 3. Rhizosolenia hebetata (Bail.). Das eine Ende der Zelle (rechts) gehört der typischen hebetata, das andere der atlantischen Form semispina (Hensen). 225:1.

Digitized by Google

wasserarten, während im kalten Wasser an den Grenzen der Polarströme schwerer gebaute Zellen mit kürzeren Hörnern dominieren. Es sind auch Fälle bekannt, daß eine und dieselbe Art ihre Oberfläche durch Selbstregulierung vergrößern und verkleinern kann. Karsten zeigte, daß verschiedene Arten im Indischen Ozean, wo die Temperatur etwas höher und also die Viscosität des Wassers etwas geringer ist als im Atlantischen Ozean, einen ganz veränderten Habitus bekommen mit stark verlängerten feinen Hörnern. Ich selbst habe nachweisen können, daß eine Warmwasserart mit plattgedrückten hinteren Hörnern, Ceratium lamellicorne, an der Grenze des Verbreitungsgebietes gegen Norden normale zylindrische Hörner bildet. Kofoid beschreibt, wie verschiedene Arten durch plötzliche Uebergänge in kälteres Wasser dazu getrieben werden, kürzere oder längere Stücke ihrer Hörner zu amputieren. Unter anderen Verhältnissen können sie wieder regeneriert werden. Auch ihr Uebergewicht können sie nach Kofoid reduzieren, indem sie die durch allmähliches Wachstum verdickten Platten ihrer Zellwand abwerfen können.

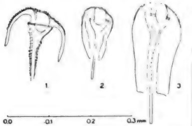


Fig. 4. Ceratium lamellicorne Kof. 1 forma compressa (Gran), 2, 3 forma normalis.

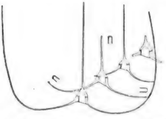


Fig. 5. Ceratium trichiceras Ehr. Die Hörner werden durch selbstregulierende Tätigkeit verkürzt. 100:1. Nach Kofoid.

Die weit verbreitete Süßwasserart Ceratium hirundinella ist in ihrer Form äußerst variabel, und namentlich bei Temperaturen oberhalb 10° treten verschiedene Varianten mit langen schlanken oder auch stark divergierenden Hörnern auf, die in jeder Stellung der Zelle eine große horizontale Projektion geben (Wesenberg-Lund, Krause).

Dieselben Veränderungen, die bei diesen Formen die Sinkgeschwindigkeit reduzieren, werden auch gegen die aktive Bewegung des Körpers einen erhöhten Widerstand leisten; nach dem Bau der Zelle meint auch Jörgensen schließen zu können, daß die Bewegungsorgane bei den mit den vollkommensten Schwebeorganen ausgerüsteten Arten schwächer entwickelt sind. Auch in einer anderen Familie der Peridineen, unter den Dinophysiden, gibt es interessante Beispiele verschiedenartiger Schwebeorgane. Die wenigen Arten der kälteren Meere bestehen wie Dinophysis acuta aus einer zungenförmigen Zelle ohne spezielle Oberflächenvergrößerung. Die charakteristischen Ringleisten, zwischen welchen die eine Geißel sich bewegt, sind nur niedrige Membranleisten am Vorderende der Zelle, und die Ventralleisten, die die andere Geißel schützen, sind ebenfalls wenig hervortretend. Die tropischen Formen können entweder wie Ornithocercus einen gedrungenen Körperbau behalten und die Leisten als mächtige Fallschirme entwickeln, oder der ganze Körper kann wie bei Amphisolenia fadenförmig ausgezogen oder wie bei Triposolenia mit drei langen dünnen Fortsätzen ausgestattet sein.

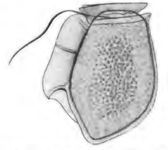


Fig. 6. Dinophysis acuta Ehr. 600:1. Nach Jörgensen.

Andere wichtige Pflanzen des Planktons, die nackten Flagellaten, die Coccolithophoriden und die Kieselflagellaten sind meistens so klein, höchstens 20 μ im Durchmesser, daß sie schon darum eine relativ

Digitized by Google

große spezifische Oberfläche haben; die größten und schwersten Formen, wie Coccolithophora pelagica, gehören den kälteren Meeren an, aber im warmen Meere kommen auch von diesen Zwergformen mit typischen Schwebeorganen vor, wie die merkwürdigen Coccolithophoriden Michaelsarsia und Halopappus mit ihrem Kranz von feinen, gegliederten Kalknadeln.

Die kleinsten Organismen des Planktons,

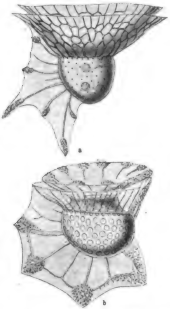


Fig. 7. a Ornithocercus splendidus, b O. steinii Schütt. 375:1. Nach G. Murray und Whitting.

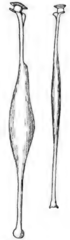


Fig. 8. a Amphisolenia globosa Stein, b A. tenella Gran. 450:1.

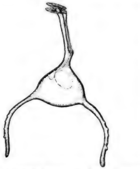


Fig. 9. Triposolenia bicornis Kofoid. 405:1. Nach Kofoid.

die Bakterien, haben keine besonderen Schwebevorrichtungen; die meisten sind lebhaft beweglich und leicht gekrümmt, was B. Fischer als eine besondere Anpassung an die pelagische Lebensweise ansieht.

Auch das Zooplankton zeigt verschiedene Anpassungen an das Schweben nach ähnlichen Prinzipien wie die Pflanzen. Bei vielen Formen setzt aber die Notwendigkeit rascher Bewegungen der Oberflächenvergrößerung eine Grenze. Ganz allgemein findet man aber einen im Vergleich mit den Bodenformen leichten Körperbau und ökonomische Verwendung der schwereren Skeletteile, namentlich des kohlensauren Kalks. Hoher Wassergehalt einerseits und Fettspeicherung andererseits reduzieren das Uebergewicht; mit Gasen gefüllte Hohlräume sind seltener.

Die am meisten charakteristischen Protozoen des Planktons, die Radiolarien und

Digitized by Google

Foraminiferen haben einen kaum beweglichen, mit spezifisch schweren Skeletteilen geschützten Körper. Dementsprechend sind auch die Schwebeorgane meistens stark entwickelt; die Oberfläche wird durch Skelettstrahlen oder durch Pseudopodien oder Gallertcilien stark vergrößert. Diese beiden Klassen von kleinen, aber für einzellige

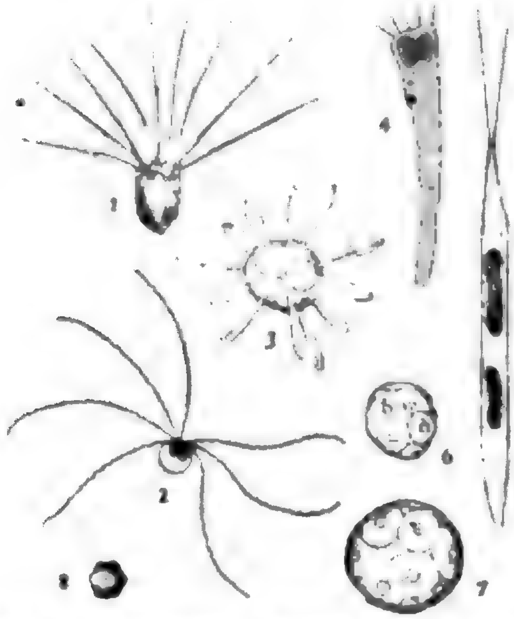


Fig. 10. Verschiedene Typen von Coccolithophoriden. 1 Michaelsarsia elegans Gran. 2 Ophiaster formosus Gran. 3 Rhabdospaera claviger Murr. u. Blackm. 4 Syracosphaera prolongata Gran. 5 Calciosolenia Murrayi Gran. 6 7 Coccolithophora leptopora Murray u. Blackm. 8 Pontosphaera Huxleyi Lohm. 750:1.

Organismen hoch organisierten Tieren, sind überwiegend Warmwasserbewohner; nur verhältnismäßig wenige Arten kommen in temperierten und kalten Meeren vor.

Wie Häcker nachgewiesen hat, sind die Arten der Tiefsee im allgemeinen größer als diejenigen der leichtflüssigen oberen Wasserschichten der warmen Meere; unter den Tripyleen gibt es sogar Arten wie Aulacantha scolymantha mit einem deutlichen Dimorphismus: neben einer größeren Form, Aulacantha scolymantha bathybia, kommt eine Zwergform vor, die auch in den warmen Oberflächenschichten leben kann (Aulacantha scolymantha typica).

Die Medusen sind durch ihr geringes spezifisches Gewicht und ihre Glockenform an das pelagische Leben angepaßt; selbst die schwer gebauten Echinodermen können pelagische Jugendstadien haben, wie die Pluteuslarven der Ophiuriden, deren Oberfläche durch lange steife Arme vergrößert ist, die gleichzeitig als Balanceorgane während des Schwebens dienen können. Der einzige bekannte Echinoderm, der auch im erwachsenen Zustande pelagisch lebt, Pelagothuria ludwigi Chun, hat einen weichen, gallertigen Körper mit einer mächtigen von 12 Tentakeln durchzogenen Mundscheibe, die während des Schwebens einen horizontalen Fallschirm bildet, in ähnlicher Weise wie die Glocke der Medusen, aber ohne die für diese charakteristischen pumpenden Bewegungen.

Unter den bepanzerten Rotatorien des Süßwassers findet man einerseits Formen mit langen Balanziernadeln wie Notholca longispina, andererseits eine Variabilität, die von Wesenberg-Lund als Saisonvariation gedeutet wird. Während im Winter die meisten Individuen von Anuraea cochlearis untereinander ähnlich und ziemlich groß sind, werden die Generationen, die mit steigender Temperatur entstehen, im allgemeinen immer kleiner, und es treten divergierende Variationsreihen auf.

Unter den Würmern sind die Tomopteriden typische Planktontiere mit hohem Wassergehalt und großer Oberfläche; die pelagischen Polychaetenlarven haben in ihren langen Borsten vorzügliche Schwebeeinrichtungen, die namentlich bei den Mitraria-larven schön entwickelt sind.

Die wichtigste Tierklasse des Planktons bilden die Arthropoden, unter denen auch Anpassungen an das pelagische Leben in mannigfaltiger Variation zu finden ist. Namentlich sind die Extremitäten mit ihren oft federförmig verzweigten Borsten vorzügliche Schwebeorgane, die während der Bewegung zusammengefaltet werden können. Die allerwichtigsten sind die Copepoden; phantastisch gezierte Formen wie Calocalanus pavo und Augaptilus filigerus gehören dem leichtflüssigen warmen Wassers an, während die Kaltwasserformen wie Calanus finmarchicus einfacher gebaut sind. Diese Formen, die in den Tropen erst in der Tiefe, auf höherer Breite aber schon an der Oberfläche gefunden werden, sind auch im ganzen größer als die Bewohner der warmen Wasserschichten. Eine reine Kaltwasserform wie Calanus hyperboreus ist auch in der Körpergröße extrem entwickelt, als ein Riese unter den pelagischen Copepoden. Auch unter den Amphipoden und Decapoden leben die größeren Formen in der Tiefe.

Die Cladoceren des Süßwassers zeigen eine deutliche Temporalvariation mit Tendenz zur Oberflächenvergrößerung während der Sommers; phantastische Formen der tiefen See wie Bythotrephes longimanus würden in ihrem Brutsack eine allzu schwere Last zu tragen haben, wenn nicht der in einen langen Stiel ausgezogene Hinterleib als Schwebe- und Balanceorgan dienen könnte.

Die Chaetognathen (Pfeilwürmer) sind mit ihrem langgestreckten, lebhaft beweglichen

Digitized by Google

Körper ideale Planktontiere. Unter den Tunicaten haben die Salpen einen Körper mit hohem Wassergehalt; die Appendicularien haben einen relativ schweren Körper, der im freien Zustande nur durch die lebhaften Bewegungen des Schwanzes schweben kann; der Körper umgibt sich aber mit einem großen Gehäuse aus Cuticula und Gallerte und erhält dadurch die nötige Oberflächenvergrößerung.

Die pelagischen Fischeier sind durch hohen Wassergehalt auf ein bestimmtes spezifisches Gewicht des umgebenden Wassers eingestellt; zuweilen ist auch die Oberfläche durch Membranstacheln vergrößert. Die pelagischen Eier der Bodenfische reduzieren den Wassergehalt während ihrer Entwickelung, und die Larven suchen nach und nach tiefere Wasserschichten. Die echten Planktonfische, die den oberen warmen Schichten der tropischen Meere angehören (bis 800 bis 1000 m), sind durchgehends sehr kleine Formen, die auch bei Geschlechtsreife nur wenige Zentimeter lang werden (Argyropelecus, Cyclothone, Scopeliden). Einige Riesenformen, wie Mola rotunda, die wegen ihrer Größe wohl kaum dem Plankton zugerechnet werden können, sind mit einer dicken Speckschicht umgeben, durch welche sie an der Oberfläche schweben können.

4. Verhältnis zum Salzgehalt des Wassers. Einen entscheidenden Einfluß auf den Charakter des Planktons hat die chemische Zusammensetzung des Wassers. Das Plankton des Süßwassers, das Limnoplankton, ist von demjenigen des Meeres, dem Haliplankton so wesentlich verschieden, daß sie wohl kaum eine einzige Art wirklich gemeinsam haben; wenn auch Süßwasserformen, die ins Meer getrieben sind, noch eine Zeit leben können, werden sie sich auf die Dauer nicht fortpflanzen. Einen Uebergang bilden die relativ wenigen euryhalinen Formen des Brackwassers, die als Hyphalmyro-Plankton zusammengefaßt werden können. Wahrscheinlich ist der osmotische Druck der entscheidende Faktor.

Der Formenreichtum des Haliplanktons übertrifft bei weitem denjenigen des Limnoplanktons. Viele Tierklassen, die im marinen Plankton reich vertreten sind, wie z. B. Foraminiferen, Echinodermen und Tunicaten, fehlen dem Süßwasser vollständig, während andererseits keine Klassen dem Süßwasser eigentümlich sind. Unter den Pflanzen ist der Unterschied nicht ganz so groß; die wichtigsten Gruppen, die Diatomeen, Cyanophyceen, Peridineen und Flagellaten, gehören sowohl dem Meere als den Binnenseen an; sogar mehrere Gattungen wie Ceratium, Peridinium, Rhizosolenia sind im Süßwasserplankton durch Arten vertreten, die mit marinen Formen nahe verwandt sind. Die kalkschaligen Coccolithophoriden fehlen dem Süßwasser, während umgekehrt die grünen Algen im Meeresplankton so spärlich vertreten sind, daß viele Gruppen, die im Süßwasserplankton regelmäßig vorkommen, wie Conjugaten und Protococcoideen, vollständig fehlen.

Der oft wechselnde Salzgehalt des Brackwassers scheint den Planktonorganismen die schwierigsten Lebensbedingungen zu bieten. In Gebieten mit niedrigem Salzgehalt wie in den inneren Teilen der Ostsee lebt ein artenarmes Plankton, das einerseits aus wirklichen Süßwasserformen, andererseits aus Arten besteht, die für das Brackwasser charakteristisch sind. Unter den ersteren können Diatomeen wie Fragilaria crotonensis, Cyanophyceen wie Aphanizomenon flosaquae, Chlorophyceen wie Pediastrum, Botryococcus und Scenedesmus, Rotatorien wie Anuraeaarten genannt werden. Brackwasserformen sind z. B. die Diatomeen Thalassiosira baltica und Chaetoceras danicum, die Rotatorien Synchaeta baltica und monopus, die Copepoden Limnocalanus Grimaldi und Eurytemora affinis. Weiter westlich findet man eine immer größere Zahl von echten Meeresformen, die sich dem Brackwasser anpassen können; die Anpassungsfähigkeit scheint bei nahe verwandten Arten sehr verschieden zu sein; aus den Resultaten der Internationalen Meeresuntersuchungen ist es deutlich zu sehen, wie alle Uebergänge vorhanden sind zwischen den euryhalinen Arten der Ostsee und den stenohalinen des freien atlantischen Meeres. Von den Copepoden sind z. B. Limnocalanus Grimaldi und Eurytemora affinis ausschließlich Brackwasserformen, Acartia bifilosa eine stark euryhaline Meeresform. Mehr oder weniger euryhalin sind noch Acartia longiremis, Temora longicornis, Centropages hamatus; auch die weit verbreiteten Arten Oithona similis und Pseudocalanus elongatus sind konstante Ostseebewohner, während Calanus finmarchicus und andere Charakterformen der Nordsee nur als zufällige Gäste gefunden werden. In den Oberflächenschichten des „baltischen Stroms" an der schwedischen und norwegischen Küste, wo der Salzgehalt im Sommer unterhalb 28‰ ist, wird die Hauptmasse des Phytoplanktons aus den euryhalinen, weit verbreiteten Arten Ceratium tripos und Rhizosolenia alata gebildet.

In salzigen Binnenseen besteht das Plankton teils aus reinen Süßwasserformen, teils aus eigentümlichen Salzseeformen, die sich wahrscheinlich aus Süßwasserformen entwickelt haben. Arten von wahrscheinlich mariner Abstammung können vorkommen; das Phytoplankton des Aralsees, das nach Ostenfelds Untersuchungen mit dem-

jenigen des Kaspischen Meeres genau übereinstimmt, hat mehrere Arten mit der Ostsee gemeinsam. Unter den Tieren kommen Evadnearten und die Ostsee-copepode Limnocalanus Grimaldi mit reinen Süßwasserplanktonformen wie Polyphemus zusammen vor.

Auch im Meere selbst, wo die Variationen des Salzgehalts relativ gering sind, können doch benachbarte Gebiete Verschiedenheiten in der Zusammensetzung des Planktons zeigen, die nach aller Wahrscheinlichkeit auf den Salzgehalt des Wassers zurückzuführen sind. Namentlich kalkhaltige Organismen, wie Foraminiferen und Coccolithophoriden scheinen einen hohen Salzgehalt zu bevorzugen; von den letzteren ist nur eine einzige Art, Pontosphaera Huxleyi, aus Küstenwasser mit niedrigem Salzgehalt bekannt. Die meisten Diatomeen sind dagegen ziemlich euryhalin. Der große Unterschied zwischen dem Plankton der Küstenströmungen und demjenigen des offenen Ozeans hängt ebenfalls teilweise mit dem Salzgehalt zusammen, da dieser an den Küsten niemals so konstant wie auf dem Ozean wird. Hier greifen jedoch auch andere Faktoren ein, die im folgenden Abschnitt behandelt werden.

5. Einfluß des Bodens. Das Plankton des offenen Meeres ist vollständig unabhängig vom Meeresboden; die Pflanzen und Tiere müssen durch eine unbegrenzte Zahl von Generationen ihr schwebendes Leben fortsetzen können; in ihrer ganzen Ernährung sind sie nur von den im Hochseewasser gelösten Stoffen und von den Wechselbeziehungen der Organismen untereinander abhängig. In der Nähe der Küsten und namentlich in den seichteren Küstenmeeren findet aber eine lebhafte Wechselwirkung zwischen dem Plankton und dem Benthos statt, und Detritus wie auch gelöste Stoffe werden dem Wasser vom Lande her zugeführt. Darum kann eine natürliche Einteilung des Planktons durchgeführt werden, indem man mit Häckel das ozeanische Plankton des offenen Meeres von dem neritischen der Küstenmeere unterscheidet. Neritisch sind erstens alle Organismen, die einen Teil ihres Lebenszyklus am Boden durchmachen, einen anderen im schwebenden Zustande. Ein sehr großer Teil der Littoralfauna der warmen und temperierten Meere hat pelagische Larven, die in ihrer Form von den erwachsenen Tieren wesentlich abweichen und oft verschiedene Verwandlungen durchmachen, bis sie das Bodenleben aufnehmen. Solche pelagische Larven werden von vielen Anneliden, Bryozoen, Crustaceen (Cirripedien, Decapoden), Echinodermen, Mollusken, Ascidien, Fischen gebildet; die Larven treiben mit den Strömungen oft weite Strecken, und diese Wanderungen haben sicher eine große Bedeutung für die Verbreitung der sonst stationären Arten. Auch für die Ernährung der jungen Stadien muß diese Lebensweise wichtig sein; diejenigen Arten derselben Familien, die keine pelagische Entwickelung durchmachen, wie es namentlich in arktischen und antarktischen Gebieten häufig der Fall ist, legen größere, mehr dotterreiche Eier und pflegen oft selbst ihre Brut durch die ersten Stadien.

Neritisch sind auch die Hydromedusen, die pelagische Generation der Hydroiden, und die craspedoten Medusen, die aus einer festsitzenden Scyphostomageneration gebildet werden.

Auch in einer anderen Weise können Planktonorganismen von dem Boden abhängig sein; die Lebensbedingungen in den Küstenmeeren sind viel mehr variabel als im Ozean. Sowohl Salzgehalt als auch Temperatur können variieren innerhalb ziemlich weiter Grenzen, und jede Art findet oft nur in einer bestimmten Jahreszeit günstige Lebensbedingungen. Viele Arten haben aber die Fähigkeit, Dauersporen oder Dauereier zu bilden und können dann eine Zeitlang am Boden ruhen, bis wieder die Lebensbedingungen günstig werden. Unter den Planktondiatomeen bilden viele Arten charakteristische Dauersporen in ihren Zellen; der lebende Inhalt wird dicht zusammengezogen und mit engeren, dickeren Zellwänden umgeben; das spezifische Gewicht wird dadurch erhöht, so daß die Spore schneller sinkt als die vegetierenden Zellen. Einige Arten vegetieren im Sommer und ruhen im Winter, und wärmeliebende Arten

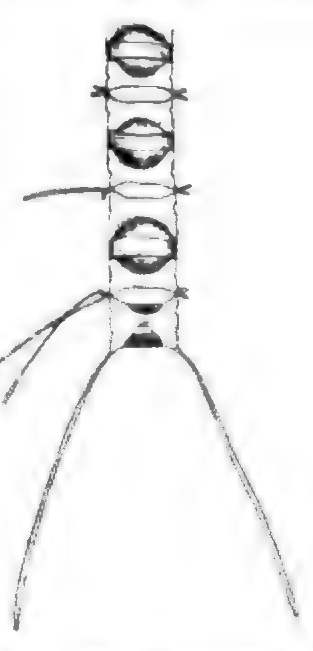


Fig. 11. Kette von Chaetoceras constrictum Gran mit drei Dauersporen und einer normalen Zelle (der Endzelle). 330:1.

können dadurch auf sehr hohen Breiten vorkommen, wo die Temperatur nur eine kurze Zeit die nötige Höhe erreicht. Andere Arten, die höhere Temperaturen nicht ertragen, ruhen im Sommer und vegetieren im Winter und Frühling.

Solche Dauerstadien kommen auch bei den Tintinnen vor (z. B. bei Cyttarocylis serrata); ruhende Wintereier werden von pelagischen Cladoceren (Evadne, Podon) gebildet und wahrscheinlich auch von einzelnen Copepoden (Acartia, Centropages).

Alle die hier genannten neritischen Organismen können auch mit Häckels Bezeichnung meroplanktonisch genannt werden, weil sie nur zum Teil dem Plankton gehören, im Gegensatz zu den holoplanktonischen ozeanischen Arten.

Ein sehr großer Teil des neritischen Planktons wird aus solchen meroplanktonischen Arten gebildet; es gibt aber auch mehrere, bei denen keine Bodenstadien und keine direkte Beziehungen zum Boden bekannt sind, die aber trotzdem für die Küstenmeere charakteristisch sind. Da das Plankton der Küstenmeere quantitativ sehr viel reicher ist als dasjenige des Ozeans unter entsprechenden Verhältnissen, liegt die Erklärung nahe, daß die Ernährungsbedingungen an den Küsten so viel günstiger sind, wie es für die Existenz gewisser Arten notwendig ist. Diese neritischen Arten müssen bis zu einem gewissen Grad Variationen in Temperatur und Salzgehalt ertragen können. Die ozeanischen Arten sind andererseits wahrscheinlich sehr empfindlich gegen solche Wechselungen, und sind darum in den Küstenmeeren meistens von der Konkurrenz ausgeschlossen. Wie namentlich van Breemen aus der Zuidersee und Nordsee nachgewiesen hat, gibt es Uebergänge zwischen neritischen und ozeanischen Tieren, abgesehen davon, daß ozeanische Organismen oft dicht an den Küsten gefunden werden, wie auch neritische Arten mit den Strömungen ins offene Meer treiben können. Im allgemeinen aber kann die Einteilung ganz gut durchgeführt werden.

Auch im Süßwasser ist das Plankton der tieferen Seen von demjenigen der seichten qualitativ verschieden; das Süßwasserplankton ist aber im ganzen viel mehr abhängig vom Ufer als das Meeresplankton und die einzelnen Arten würden fast ohne Ausnahme als neritisch bezeichnet werden müssen, wenn die für das Meer gebrauchte Nomenklatur auf das Süßwasser angewendet werden sollte. Formen mit am Boden ruhenden Dauerstadien (Cladoceren, Rotatorien) spielen im Zooplankton eine hervortretende Rolle; unter den Pflanzen finden wir Dauersporen bei den meisten Familien, selbst bei den Peridineen (z. B. Ceratium hirundinella), die im Meere überwiegend ozeanisch und so weit bekannt alle holoplanktonisch sind. Einige Diatomeen des Süßwasserplanktons gehören Gattungen (Tabellaria, Diatoma, Fragilaria) an, die auch in der Uferflora repräsentiert sind, ja bei den Tabellariaarten sind die pelagischen Formen nur als Varietäten von festsitzenden Uferformen anzusehen. Dasselbe kommt auch im Meere vor, z. B. mit Biddulphia aurita, aber relativ viel seltener. Tiere und Pflanzen, die eigentlich dem Plankton gar nicht angehören, sondern nur zufällig losgerissene Uferformen sind, spielen ebenfalls im Süßwasser eine verhältnismäßig große Rolle; sie können als tycholimnetisch bezeichnet werden im Gegensatz zu den eigentlich limnetischen Arten; diese sind wieder teils eulimnetisch (holoplanktonisch) teils hemilimnetisch (meroplanktonisch). Es ist auch versucht worden, die Einteilung weiter durchzuführen, was aber weniger zweckmäßig ist.

Das Plankton der ganz seichten Wasserbecken und Teiche bezeichnet Zacharias als Heloplankton im Gegensatz zum Limnoplankton der tieferen Seen; die Unterscheidung kann nicht scharf durchgeführt werden; aber die geringe Tiefe, die damit verbundenen stärkeren Variationen in der Temperatur und der höhere Gehalt an gelösten Humusstoffen gibt doch dem Plankton der Teiche ein charakteristisches Aussehen; relativ zahlreich sind einerseits Uferformen, andererseits Desmidiaceen und Protococcaceen. Unter den Tieren, die sehr zahlreich vorhanden sein können, sind Cladoceren (Ceriodaphnien, Bosminaarten u. a.), Cyclopsarten und Diaptomus vulgaris, Rotatorien aus den Gattungen Brachionus, Schizocerca und Pedalion dominierend.

6. Abhängigkeit von der Temperatur. Die Temperatur ist einer der wichtigsten Faktoren, die in das Leben des Planktons eingreifen. Die Temperatur der natürlichen Gewässer ist nicht größeren Variationen unterworfen, als daß sowohl die kältesten wie die wärmsten Gebiete des Meeres und des Süßwassers von lebendem Plankton bewohnt sein können. Aber der Charakter des Planktons variiert stärker nach der Temperatur als nach irgendwelchem anderen Faktor. Die Zahl der Arten nimmt von den Tropen bis zu den Polen stetig ab, aber die kalten Gewässer haben ihre besonderen Formen, die bei niedriger Temperatur ihr Optimum haben; die horizontalen Verbreitungsgrenzen der einzelnen Arten entsprechen meistens den Temperaturkurven. Nach der Verbreitung können wir schließen, daß einige Arten eurytherm sind, daß sie also innerhalb weiter Temperaturgrenzen mit anderen Arten konkurrieren können; andere sind stenotherm, sie verlangen ganz be-

Digitized by Google

stimmte Temperaturverhältnisse, um so gedeihen zu können, daß die fortgesetzte Existenz der Art möglich ist.

Nicht nur die einzelnen Arten, sondern auch die größeren Familien machen verschiedene Ansprüche an die Temperatur. In dem kalten Wasser der Polargebiete sind die Diatomeen und Flagellaten noch ziemlich reich vertreten, die Peridineen und Coccolithophoriden nur durch wenige Arten, und die Cyanophyceen sind ausgesprochene Warmwasserformen. Salpen und echt pelagische Fische gehören dem warmen Wasser an, während Crustaceen (Copepoden, Hyperiden, Schizopoden, Ostracoden), Chaetognathen und Hydroidmedusen in den Polargebieten den wesentlichsten Teil des Planktons ausmachen; Foraminiferen und Radiolarien sind im Kaltwasser nur durch eine geringe Zahl von Arten vertreten.

Die Temperatur wird auch in der jährlichen Periodizität des Planktons neben dem Licht der entscheidende Faktor sein; an den Küsten Europas wuchern diejenigen Arten, die ihr Hauptgebiet im hohen Norden haben, in den ersten Monaten des Jahres, wenn die Temperatur des Wassers ihr Minimum erreicht; die südlichen Arten dagegen treten erst in Menge auf, wenn im Sommer und Herbst das Wasser warm geworden ist. In den Süßwasserseen Mitteleuropas dominieren die Kälte liebenden Diatomeen im Winter und Frühling, die Peridineen im Sommer, und die Cyanophyceen treten erst in Menge auf, wenn die Temperatur bis 20° C gestiegen ist.

Es wäre von vornherein zu erwarten, daß auch die gesamte Quantität des Planktons mit steigender Temperatur steigen sollte. So einfach ist das Verhältnis jedenfalls nicht, selbst wenn das Licht als bestimmender Faktor mitgerechnet wird. Zwar zeigen die Resultate der quantitativen Planktonuntersuchungen, die das ganze Jahr hindurch an europäischen Küstenstationen durchgeführt worden sind, wie vor allem Lohmanns schöne Untersuchung bei Laboe in der Kieler Föhrde, und ähnliche Untersuchungen in Süßwasserseen, daß die Jahresperiode des Planktons so verlaufen kann, daß das Maximum der Planktonmenge im Spätsommer kurz nach dem Maximum der Temperatur gefunden wird, und das Minimum im Winter. In anderen Fällen, z. B. im Christianiafjord ist es aber auch anders, mit Maxima im Frühling und Herbst und einem sekundären Minimum im Juni bis Juli. Und vor allem zeigen alle Untersuchungen im offenen Ozean (Hensens Plankton-Expedition, „Michael Sars"-Expedition 1910, Lohmann 1911), daß die gesamte Planktonmenge der oberen Schichten, bis 400 m, in den warmen Meeren quantitativ bedeutend ärmer ist als in den temperierten.

Wenn in den tropischen Meeren alle notwendigen Bedingungen der Kohlensäureassimilation und der Ernährung des Phytoplanktons vorhanden sind, muß nach van't Hoffs Gesetz die Produktion bei 25° bedeutend schneller vorgehen als bei 5°; die wenigen Untersuchungen, die bis jetzt ausgeführt worden sind über die Vermehrungsgeschwindigkeit der Planktonorganismen bei verschiedener Temperatur, wie diejenigen von Apstein und Gran über Ceratium, gaben das Resultat, daß die Geschwindigkeit mit steigender Temperatur steigt. Wenn also in warmen Gewässern die Gesamtmenge des Planktons trotzdem nicht schneller steigt als in den kalten, sondern sogar bedeutend geringer bleibt, müssen entweder einer oder mehrere andere, für die Produktion entscheidende Faktoren den Zuwachs hemmen, oder die in den Oberflächenschichten gefundenen Mengen können keine korrekte Vorstellung geben über die Produktion selbst, weil eine verhältnismäßig große Zahl der entstandenen Individuen vernichtet werden, indem sie weggeführt oder von anderen Organismen gefressen werden.

Die erstere Möglichkeit wird im Abschnitt über Ernährung und Stoffwechsel behandelt; die zweite, daß eine rasche Produktion der warmen Meere durch eine entsprechend vergrößerte Zehrung verdeckt werde, ist schwierig zu verfolgen. Im Christianiafjord ist es mir gelungen, nachzuweisen, daß die Ceratiumarten, die im Sommer im Phytoplankton dominieren, im Juli und August trotz einer starken Vermehrung (Zuwachs 6,5 bis 28,8% täglich) nicht wesentlich an Zahl zunehmen. Wahrscheinlich ist der größte Teil der verschwundenen Individuen mit den im Sommer herrschenden nach aussen fließenden Oberflächenströmungen aus dem Fjorde herausgetrieben; denn im Herbst, wenn nach innen gerichtete Strömungen häufiger sind, können sich dieselben Arten schnell in großer Menge ansammeln, schneller sogar als es nach der zu dieser Jahreszeit gemessenen Vermehrungsgeschwindigkeit erwartet werden konnte.

In der Sargassosee, wo die Oberflächenschichten immer sehr arm an Plankton gefunden worden sind, fand Hjort in der Tiefe (500 bis 1000 m) ein bedeutend reicheres Zooplankton; diese und andere ähnliche Beobachtungen sucht er durch die Hypothese zu erklären, daß das Plankton der oberen warmen Schichten mit geringer Viscosität durch das schnelle Sinken der Individuen immer quantitativ arm gehalten wird, während andererseits dieser konstante Regen von Organismen in derjenigen Tiefe aufgehalten wird, wo das spezifische Gewicht und

Digitized by Google

die Viscosität des Wassers beide rasch steigen, und hier die Bedingungen eines reichen Tierlebens schafft.

Von der direkten Einwirkung der Temperatur kann die Regel festgestellt werden, daß die höheren Temperaturen den meisten Arten günstig sind und der gesamten Produktion die besten Bedingungen bieten. Schädlich sind im allgemeinen rasche Veränderungen in der Temperatur, und am schlimmsten scheint ein rasches Steigen zu wirken. Dies kann zum Teil auf einer indirekten Einwirkung der Temperatur beruhen, namentlich auf den Gehalt an gelösten Gasen, speziell Sauerstoff. Auch in anderer Weise kann die Temperatur eine indirekte Bedeutung haben; ihr Einfluß auf das spezifische Gewicht und auf die Viscosität des Wassers ist schon oben besprochen worden; ihre Einwirkung auf das Vorkommen der Nährstoffe wird unten im Abschnitt über Ernährung behandelt werden.

7. Beziehungen zum Licht. Die Beziehungen des Planktons zum Licht können wir im allgemeinen nur in der Weise studieren, daß wir die Tiefenverteilung der verschiedenen Arten studieren. Von Experimenten sind bis jetzt nur wenige ausgeführt.

Das Phytoplankton ist selbstverständlich in seiner Kohlensäureassimilation vom Licht abhängig; wir können uns aber die Frage stellen, welche Lichtintensität die optimale ist, und bei welchem Minimum die Assimilation noch möglich ist. Die erste Frage kann schon insoweit beantwortet werden, daß für die meisten Arten die Lichtstärke an der Meeresoberfläche an hellen Tagen bei ruhigem Wetter das Optimum übersteigt. Das beweisen schon Schimpers Untersuchungen im antarktischen Meere während der Valdivia-Expedition; das Maximum des Phytoplanktons wurde nicht an der Oberfläche gefunden, sondern zwischen 20 und 80 m, näher bestimmt zwischen 40 und 60 m. Er konnte auch nachweisen, daß mehrere Diatomeen an der Oberfläche ihre Chromatophoren gegen das starke Licht schützen, indem sie in der Mitte oder an den Enden der Zelle in Klumpen zusammengezogen werden. Diese Beobachtung habe ich später bestätigen können sowohl im offenen Meere als auch im Christianiafjord. Das Maximum der Coccolithophoriden fand Lohmann im Mittelmeer bei 50 m Tiefe, und nach meinen eigenen Untersuchungen in der Sargasso-See war dort das Maximum des Phytoplanktons zwischen 20 und 50 m Tiefe. Auf höheren Breiten liegt das Maximum näher an der Oberfläche, und Lohmann, der im Jahre 1911 am Bord der „Deutschland" regelmäßig quantitative Untersuchungen ausführte in den Tiefen 0, 50, 100, 200 und 400 m, gelangte zu dem Resultat, daß durchschnittlich für die ganze Fahrt bis Buenos Ayres die Oberflächenschicht reicher war als das Wasser bei 50 m Tiefe. Seine Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Vorkommen der Protophyten im Gebiet von:

(Durchschnittszahlen für die ganze Fahrt der auf jeder Station in 1 Liter enthaltenen Protophyten.)

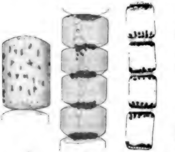
Tiefe m	Protophyten, alle zusammen	Aflagellaten			Euflagellaten					
		Diatomeen	Trichodesmium	Chroococaceen	Coccolithophoriden	Silicoflagellaten	Nackte Phytoflagellaten	Peridineen, gepanzert	Gymnodinien	Euglena, Carteria
0	8100	1200	250	10	1800	15	2600	190	2000	15
50	5000	2300	50	5	1400	5	260	20	900	25
100	1600	550	10	5	570	2	100	15	370	2,5
200	450	300	5	20	75	0	5	5	55	0,5
400	300	250	0	5	20	0	2	1	30	0,5

Diese Durchschnittsresultate widersprechen nicht dem Satz, daß die Lichtintensität an der Meeresoberfläche für die Mehrzahl der Pflanzen supraoptimal sein kann, so daß das Maximum der Produktion etwas unterhalb der Oberfläche liegt. Auch an mehreren von Lohmanns einzelnen Stationen, namentlich innerhalb der Tropen, war das Wasser bei 50 m reicher als die Oberfläche in anderen Fällen kann das Maximum zwischen 0 und 50 m gewesen sein. Zum Vergleich kann eine Untersuchung dienen, die ich selbst auf einer Station auf 63°18′ n. Br., 3°15′ w. Lg., am 25. Mai 1911 ausführte. Die Diatomeen, die unter den Pflanzen ganz dominierten, sind allein aufgeführt.

Digitized by Google

Tiefe in m	0	10	25	50	75	100	200
Temperatur °C	6,10	9,09	6,05	4,01	3,65	3,36	2,05
Salzgehalt ‰	35,04	35,06	35,04	34,92	34,92	35,03	34,87
Diatomeen, Zellen per Liter	148 800	152 800	127 300	10 500	830	70	0
Davon Thalassiosira gravida	85 800	88 500	56 600	5 970	590	20	—

Hier wie in den meisten anderen Fällen ist das Licht nicht der einzige Faktor, der mit der Tiefe variiert; von anderen Beobachtungen wissen wir aber, daß die hier dominierenden Arten, namentlich Thalassiosira gravida, die mehr als die Hälfte des gesamten Phytoplanktons ausmacht, bei niedriger Temperatur (0 bis 2°) sich massenhaft vermehren kann: es wird darum erlaubt sein zu schließen, daß noch bei 25 m Tiefe fast optimale Lichtstärke vorhanden ist, und daß die Lichtstärke an der Oberfläche wenn nicht direkt schädlich, so doch überflüssig groß ist. Bei den Kulturversuchen, die Allen und Nelson mit Planktondiatomeen anstellten, zeigte es sich auch, daß



a b c

Fig. 12. Planktondiatomeen. a b Lauderia annulata Cleve. a Zelle frühmorgens eingefangen, mit Chromatophoren, in normaler Stellung. b Kette aus der Meeresoberfläche 3 Uhr nachmittags; die Chromatophoren sind an den Enden der Zellen zusammengeballt. c Detonula schröderi (Berg.), unter denselben Verhältnissen, 400:1.

sie in einem von Norden beleuchteten Zimmer etwas innerhalb des Fensters am besten gediehen. Andererseits zeigen Whipples Kulturversuche mit den häufigen Süßwasserformen Asterionella und Melosira, die in heruntergesenkten Flaschen in verschiedenen Tiefen gezüchtet wurden, daß die Fortpflanzung proportional mit der Lichtstärke verlief. In dem „gefärbten" planktonreichen Wasserbecken, wo die Versuche ausgeführt wurden, war die Lichtstärke schon in 18 Fuß Tiefe so gering, daß die Algen sich nicht vermehrten.

Die Ansprüche an Licht sind sicher für die verschiedenen Arten verschieden; aus Lohmanns Tabelle ist es schon deutlich, daß die Diatomeen im ganzen weniger Licht brauchen als die übrigen Planktonalgen; auch die Coccolithophoriden sind ziemlich genügsam, während die Cyanophyceen (Trichodesmium) und die nackten Phytoflagellaten ihr Maximum nahe an der Oberfläche haben. Dasselbe ist der Fall mit den Ceratien. Eine deutliche Schichtung des Phytoplanktons ist auch mehrmals früher beobachtet worden, namentlich von Schimper, der im antarktischen Ozean eine charakteristische „Schattenflora" von Coscinodiscusarten und ähnlich gebauten Diatomeen entdeckte.

Auch verschiedene untereinander nahe verwandte Arten derselben Gattung können sich gegenüber dem Licht verschieden verhalten. Ceratium fusum hat sein Maximum tiefer als C. tripos; im Christianiafjord können schon in den oberen 5 bis 10 m deutliche Schichtungen von diesen Arten vorkommen, die sich nach der Tageszeit verändern, so daß aktive vertikale phototaktische Wanderungen für diese Arten wahrscheinlich sind.

Eine andere Frage ist es, das Minimum von Lichtintensität zu bestimmen, bei dem die Kohlensäureassimilation der Algen noch möglich ist, oder bei dem die Algen bei selbständiger (autotropher) Ernährung sich noch schnell genug vermehren können, um einen dauernden Bestand zu bilden. Die in den verschiedenen Tiefen vorhandene Lichtintensität ist bis jetzt nur durch unvollkommene Methoden bestimmt worden, die meistens nur relative Werte geben. Sicher ist es, daß die Lichtabsorption der natürlichen Gewässer sehr verschieden sein kann; sie ist von dem Planktonreichtum selbst abhängig, aber auch von anderen Faktoren. Die Maximumwerte der Sichttiefe, mit einer herabgesenkten weißen Scheibe gemessen, waren z. B., nach Steuers, Zusammenstellung in folgenden Süßwasserseen:

	m		m
Lake Tahoe (U.S.A.)	33	Annecysee	11
Gardasee	21,6	Plönersee	11
Genfersee	18,6	Zürichersee	9,5
Vierwaldstättersee	17,4	Hallstättersee	8,8
Nyassasee	16,0	Lac de Bret	5,5
Bodensee	11,5	Katzensee	4,5

Im offenen Meere ist das Wasser noch klarer; im Roten Meer wurde nach derselben Methode die Sichttiefe zu 51 m festgestellt; in der Nähe der Küsten ist meistens die Absorption stärker, z. B. ist im Golf von Triest nach Steuer die Sichttiefe im Maximum 13 m.

Nach den neuesten, von Helland-Hansen ausgeführten Untersuchungen konnte in der Sargasso-See noch in 1000 m Tiefe eine deutliche Einwirkung des Lichtes auf einer photographischen Platte nach einer Exposition von 80 Minuten nachgewiesen werden; in 1700 m zeigte sich aber nach 2 Stunden keine Einwirkung. Versuche mit verschiedenen Lichtfiltern zeigten, daß in 500 m reichlich von blauen bis ultravioletten Strahlen vorhanden sind, während die roten kaum zu dieser Tiefe hervordringen. In 100 m konnten alle Strahlen des Spektrums, auch die roten, nachgewiesen werden. Diese Messungen wurden im Sonnenschein bei klarem Himmel am 5. Juni auf 31°20′ n. Br. ausgeführt; auf höheren Breiten werden die Maximaltiefen, in welche die Strahlen eindringen, entsprechend geringer sein.

Wenn die bis jetzt ausgeführten Untersuchungen über die Verteilung des Phytoplanktons nach der Tiefe mit diesen Resultaten zusammengestellt werden sollen, begegnet uns die Schwierigkeit, daß eine nicht unbedeutende Menge von Algen weit unterhalb der Tiefe lebend gefunden werden kann, in welcher sie sich noch ernähren und vermehren können; so fand z. B. Hensens Planktonexpedition die grüne Alge Halosphaera viridis noch in 1000 m Tiefe. Chun setzt nach den Erfahrungen der Valdivia-Expedition die Grenze der euphotischen Zone, wo das Phytoplankton noch üppig gedeiht, bei 80 m. Die untere Grenze der dysphotischen Zone mit einer Schattenflora von wenigen, spärlich vorhandenen Arten (Planktoniella, Asteromphalus, Coscinodiscus) liegt ungefähr bei 400 m, wo die aphotische, für die Assimilation der Pflanzen ungeeignete Zone beginnt.

Nach den oben zitierten, bei Lohmanns quantitativen Untersuchungen gewonnenen Durchschnittszahlen, können die Grenzen dieser Zonen vielleicht noch etwas tiefer gesetzt werden; in den einzelnen Fällen werden sie aber bedeutend variieren können. Schon jetzt kann es aber festgestellt werden, daß selbst in den tropischen Meeren das Phytoplankton von 80 bis 100 m an rasch gegen die Tiefe abnimmt; auf 63° n. Br. findet man Verhältnisse wie oben nach meinen eigenen Untersuchungen angegeben, daß die Quantität der Pflanzen von 25 bis 100 m nach einer geometrischen Reihe regelmäßig abnimmt, indem die Menge bei 50 m kaum $^1/_{10}$ von derjenigen bei 25, bei 75 wieder $^1/_{10}$ davon usw. Die Intensität des Lichtes wird nach einer ähnlichen Kurve gegen die Tiefe abnehmen.

Für die Beziehungen des Zooplanktons zum Licht können namentlich nach den schönen Untersuchungen Chuns und nach Hjorts Ergebnissen mit der „Michael Sars"-Expedition die folgenden Resultate als festgestellt betrachtet werden:

A. Pelagische Tiere wurden in jeder untersuchten Tiefe gefunden: sie können also auch in der Dunkelheit der Tiefsee leben. Die Bevölkerungsdichte scheint von 1500 m stark gegen unten abzunehmen, was aber mit den Ernährungsbedingungen zusammenhängen kann.

B. Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Farbe der Tiere und der Tiefe, also der Farbe und Intensität des Lichtes, in welchem sie leben. Eine Reihe von Tieren, die dicht an der Oberfläche leben, sind spangrün oder blau, wie die Meduse Velella, die Copepode Anomalocera Patersoni, die Mollusken Janthina und Glaucus. Sonst besteht die Fauna der oberen Wasserschichten bis etwa 100 m Tiefe aus durchsichtigen Tieren aus allen Klassen: Copepoden, Chaetognathen, Salpen, Appendicularien, Jungfischen, alle mit pigmentlosen Körpern, so daß nur die Augen als dunkle Punkte sichtbar sind. Die wenigen nicht durchsichtigen Tiere, die hier gefunden werden, sind silberglänzend wie die Fische aus der Familie der Scopeliden. — In der nächst tieferen Zone, die in der Sargassosee ihre untere Grenze ungefähr bei 750 m hat, leben etwas dunklere Formen; der häufigste Fisch ist der halb durchsichtige Cyclothone signata; hier sind auch die Argyropelecusarten zuhause, deren Rücken

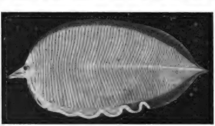


Fig. 13. Durchsichtige Fischlarve (Leptocephalus sp.) aus den oberen Schichten. Nach Hjort.

dunkelbläulich ist, während die flachen Seiten und die Unterseite die Lichtstrahlen wie Spiegel reflektieren. Aehnlich gefärbt sind mehrere Stomiatiden, die in derselben Tiefe leben. — Die pelagische Fauna der Tiefsee von 750 m Tiefe abwärts besteht aus dunkel gefärbten Tieren; die Fische sind meistens ganz schwarz (z. B. Cyclothone microdon, Gastrostomus bairdii, Ceratiden), die Crustaceen meistens glänzend rot wie namentlich verschiedene große Decapoden; die rote Farbe muß hier, wo keine roten Strahlen von oben durchdringen, als schwarz wirken. Auch die Nemertinen und Chaetognathen sind in der Tiefe durch kräftig rot gefärbte Arten vertreten (Dinonemertes investigatoris, Sagitta macrocephala, Eukrohnia fowleri); von den Medusen sind dunkel braunviolette Arten dominierend; bei Atolla bairdi, der häufigsten Art der Tiefsee, nimmt die Intensität der Farbe mit der Tiefe zu.

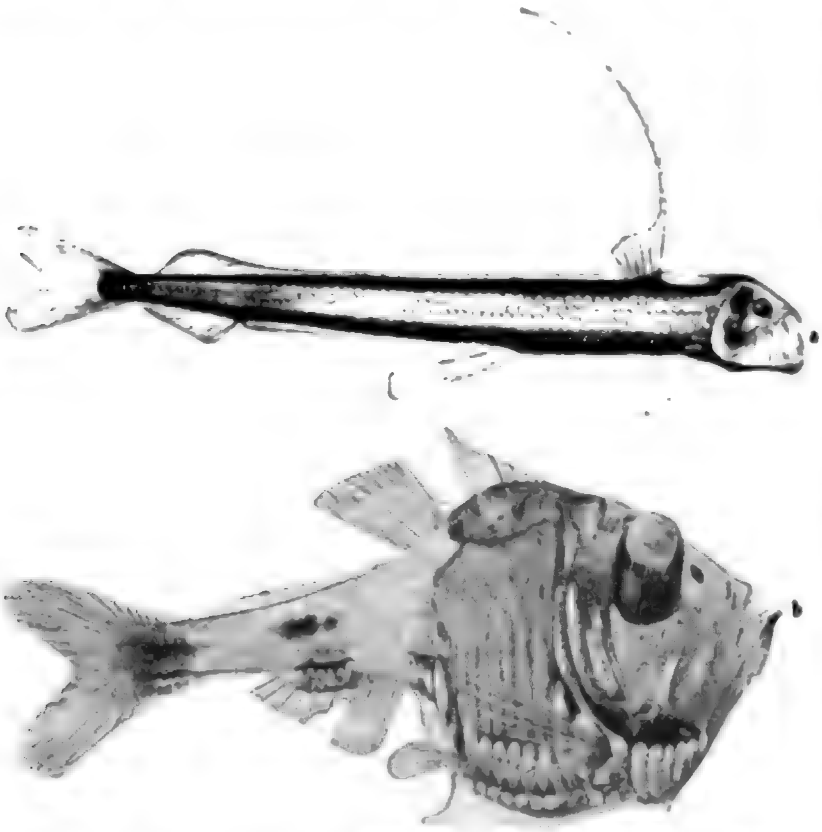


Fig. 14. Zwei silberglänzende Fische aus ungefähr 300 m Tiefe. a Chauliodus sloanei Bl. u. Schn., $^3/_4$ natürlicher Größe; b Argyropelecus hemigymnus Cocco, 3,5 cm lang. Nach Hjort.

Fig. 15. Schwarzer Fisch aus der Tiefe (Aceratias macrorhinus indicus, A. Br.), 2,8 cm lang. Nach Hjort.

Bei vielen Tieren leben die verschiedenen Altersstufen in verschiedener Tiefe; viele von den schwarzen Fischen und den roten Decapoden der Tiefsee leben als junge Larven in den durchlichteten Oberflächenschichten; in diesen Fällen sind die Jungen immer durchsichtig wie die anderen Tiere der oberen Zone; wenn aber wie bei dem schwarzen Fisch Bathytroctes rostratus die Jungen in derselben Tiefe wie die Eltern leben, werden sie schon im Larvenstadium stark pigmentiert.

Die obere Grenze der dunkelgefärbten Tiere ändert sich mit der geographischen Breite; bei 33° wurde sie bei 750 m gefunden, bei 50° n. Br. wurden dieselben Arten schon von 500 m Tiefe an gefunden, und im norwegischen Nordmeere leben rote Tiere schon 200 m unter der Oberfläche. Wenn man die relative Intensität des Lichtes zu berechnen versucht, die die direkten Sonnenstrahlen in verschiedener geographischer Breite in der Tiefe hervorbringen kann, findet man entsprechende Zahlen. 800 m Tiefe auf 33° n. Br. muß dann 500 m auf 50° und 200 m auf 67° entsprechen.

C. Auch die Fähigkeit vieler pelagischer Organismen, selbständig zu l e u c h t e n, scheint mit der Lichtstärke in ihrer Umgebung in gesetzmäßigem Zusammenhang zu stehen. Das Meeresleuchten wird von vielen verschiedenen pelagischen Organismen hervorgebracht, wie Bakterien, Peridineen, Pyrocystis, Noctiluca und von Metazoen aus verschiedenen Klassen. Bei den einzelligen Organismen kann die ganze Oberfläche leuchten; die Metazoen haben aber besondere Leuchtorgane mit Drüsenzellen, die einen leuchtenden Stoff secernieren. Die Drüsen sind bei den höher organisierten Formen durch eine Pigmentschicht vom Körper isoliert; gegen außen sind sie mit Linsen versehen, und das ganze Organ steht mit Nerven in Verbindung. Die Untersuchungen der neueren Expeditionen (Valdivia, Michael Sars) haben festgestellt, daß diese Leuchtorgane unter den Fischen und Cephalopoden nur

ed by Google

bei pelagischen Formen vorkommen; am kräftigsten sind sie entwickelt bei den Bewohnern der oberen Schichten bis 500 m Tiefe; die schwarzen Tiefseefische haben kleinere Leuchtorgane, und in den größten Tiefen sind mehrere pelagische Arten gefunden, die gar keine haben (Aceratias, Melamphaes, Cetomimus). Wenn Arten mit großen Leuchtorganen unterhalb 750 m Tiefe gefunden wurden, waren es solche Formen, wie Gonostoma rhodadenia und Photostomias Guernei, die in der Nacht auch in den Oberflächenschichten (150 bis 300 m) gefunden wurden, die also wahrscheinlich tägliche vertikale Wanderungen unternehmen. Andere Arten, die in der Tiefe mit ihnen zusammen vorkommen, und die keine oder nur sehr kleine Leuchtorgane haben, wie Gonostoma grande, Cyema atrum, Gastrostomus bairdii, wurden nie in den oberen Schichten gefunden.

D. Auch die Augen sind schwächer entwickelt bei den pelagischen Fischen, die unterhalb 500 bis 750 m leben. Brauer hat das Verhältnis zwischen dem Durchmesser des Auges und der Länge des Kopfes für eine Reihe pelagischer Fische bestimmt. Für Arten der oberen Schichten (150 bis 500 m) war das Verhältnis z. B. bei Stomias ungefähr 1:4, bei Chauliodus 1:4, Ichthyococcus 1:2,6, Vinciguerria 1:3, Argyropelecus 1:2, Sternoptyx 1:2, Opisthoproctus 1:4. Bei Cyclothonearten ist es aber 1:12 bis 1:20, und bei anderen echten Tiefseefischen (Gastrostomus bairdii, Cyema atrum, Gonostoma) sind die Augen verhältnismäßig noch kleiner. In den tiefsten pelagischen Netzfängen der „Michael Sars"-Expedition fand Hjort ganz blinde Fische, die nie in den oberen Schichten angetroffen wurden (Cetomimus storeri und eine neue, noch nicht benannte Art). Auch unter den Decapoden sind die Arten mit den relativ kleinsten Augen zugleich diejenigen, die auf die größten Tiefen, unterhalb 500 bis 750 m, beschränkt sind (Acanthephyra multispina, Parapasiphaea sulcatifrons, Hymenodora gracilis, Amalopenaeus alicei). Der einzige bis jetzt bekannte blinde Cephalopode, Cirrothauma murrayi Chun, wurde von Hjort in 1500 m Tiefe pelagisch gefangen.

Als wenige Ausnahmen von dieser Regel wurden einige Fische aus den Gattungen Melamphaes und Malacosteus gefunden, die nur in der Tiefe (1000 m) gefangen wurden und trotzdem relativ große Augen hatten; bei Melamphaes mizolepis war das Verhältnis zwischen Augendiameter und Kopflänge wechselnd, von 1:5,2 bis 1:7; bei einer anderen Art derselben Gattung 1:7 bis 1:8. Hjort findet es aber wahrscheinlich, daß diese Arten ebenso wie Photostomias guernei tägliche vertikale Wanderungen unternehmen.

In den oberen Schichten, bis 100 m, leben viele durchsichtige Fischlarven mit Stielaugen, die im Laufe der weiteren Entwickelung in normale Augen umgebildet werden (nach Untersuchungen von Lo Bianco). In den mittleren halbdunklen Schichten (bis 500 m) sind Formen mit nach oben gerichteten Teleskopaugen häufig, namentlich bei langsamen Schwimmern wie den Argyropelecusarten.

Fig. 16. Zwei schwarze Fische mit Leuchtorganen aus der Tiefe (unterhalb 500 m), nur während der Nacht in den oberen Schichten gefunden. a Photostomias guernei Coll., 17 cm; b Idiacanthus ferox Gthr., 22 cm. Nach Hjort.

E. Vertikale Wanderungen sind schon längst bekannt bei vielen Planktonorganismen; sehr häufig leben die jungen Stadien von bathypelagischen Tieren aus allen Klassen in den oberen, durchlichteten Schichten, wo auch die Ernährungsverhältnisse günstiger sind als in der Tiefe. Bei verschiedenen Fischen (Cyclothone) und Decapoden (Acanthephyra) wurde es auch von der „Michael Sars"-Expedition statistisch nachgewiesen, daß die Größe (und Alter) der Individuen mit der Tiefe zunimmt. Direkt oder indirekt wird diese charakteristische Wanderung vom Lichte abhängig sein. Noch deutlicher zeigt sich aber die Abhängigkeit vom Licht bei den täglichen vertikalen Wanderungen, die viele Tiere ausführen: Praktische Fischer und wissenschaftliche Expeditionen haben diese Wanderungen beobachtet und praktisch verwertet; Römer und Schaudinn machten z. B. die meisten ihrer pelagischen Fänge in der Nacht, wenn die Tiere gegen die Oberfläche zu kommen suchten. Chun hat diese vertikalen Bewegungen verschiedener kleinerer Tiere genauer untersucht; er fand, daß sie sich 30 bis 50 m auf und ab bewegen können. Neuerdings hat Esterly konstatiert, daß Calanus finmarchicus, eine der häufigsten Copepoden des Planktons, noch größere Strecken im Laufe des Tages durchwandern kann. Am Tage (6 Uhr vormittags bis

6 Uhr nachmittags) wurde die größte Zahl in 200 bis 250 Faden Tiefe gefunden; im Laufe des Nachmittags suchen sie nach oben zu kommen, so daß sie 6 bis 8 Uhr nachmittags ziemlich gleichmäßig verteilt waren von der Oberfläche bis zu 200 Faden. Um Mitternacht war die ganze Population in einer Schicht von 5 bis 25 Faden angesammelt; zwischen 4[30] und 6 Uhr morgens war das Maximum schon bei 100 Faden. Die Wanderungen müssen also sehr schnell verlaufen; eigentümlich ist es, daß die Tiere schon vor Mitternacht die Oberfläche verlassen.

Die experimentellen Untersuchungen, die von verschiedenen Forschern (Ewald, Franz u. a.) ausgeführt wurden, beweisen, daß die Tiere in ihren Bewegungen durch das Licht beeinflußt werden; ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Stärke und Richtung des Lichtes und der Bewegungsrichtung der Tiere scheint aber nicht vorhanden zu sein.

7. Ernährung und Stoffwechsel. Ueber die Nahrungsbedürfnisse der Planktonalgen ist bis jetzt nur wenig Sicheres bekannt; wahrscheinlich assimilieren sie dieselben Stoffe wie andere Algen; nach O. Richter brauchen die marinen Diatomeen Natrium, und auch Kieselsäure ist für sie ein notwendiger Nährstoff. Von Stickstoffverbindungen können Planktondiatomeen nach Allen und Nelsons Versuchen sowohl Nitrate als Ammoniaksalze verwerten; wieweit sie auch organische Verbindungen brauchen können, muß erst näher untersucht werden.

Die bis jetzt vorliegenden Bestimmungen über die quantitative Verbreitung der Planktonalgen beweisen mit Sicherheit, daß ein oder mehrere der für die Algen nötigen Nährstoffe im Meere so spärlich vorhanden sein müssen, daß sie das Wachstum der Algen und damit die ganze Produktion des Meeres begrenzen. In den Küstenmeeren, wo gelöste Nährstoffe mit den Flüssen zugeführt werden, ist das Plankton nach Lohmanns Schätzung ungefähr 50mal reicher als auf der Hochsee auf derselben geographischen Breite. Im nordatlantischen Ozean fand ich während der „Michael Sars“ Expedition in den oberen Schichten (0 bis 50 m) zwischen 3000 und 12000 lebende Pflanzenzellen pro Liter Seewasser; als wir uns aber der irländischen Küstenbank näherten, und das Oberflächenwasser schon mit Küstenwasser gemischt war, stieg die Individuenzahl plötzlich bis auf mehr als 200000 Zellen pro Liter. Nach Lohmanns neuesten Untersuchungen mit der „Deutschland“-Expedition war die Zahl der Protophyten an der Meeresoberfläche im kühlen Wasser durchschnittlich 16250, in den Tropen 2250 Individuen pro Liter; die höchste gefundene Zahl war 77000, Pflanzen und Tiere zusammengerechnet. In den nordeuropäischen Küstenmeeren kann aber ein Liter Hunderttausende von Zellen von solchen Arten wie Thalassiosira Nordenskiöldii und Leptocylindrus danicus enthalten, und Skeletonema costatum habe ich im Christianiafjord zu Millionen in einem Liter gefunden. Selbst solche relativ große Zellen wie die Ceratien, die charakteristische Bewohner des offenen Meeres sind, fand ich draußen nur so zerstreut, daß höchstens 10 in einem Liter vorhanden waren; im Skagerack leben in den Oberflächenschichten den ganzen Sommer hindurch Hunderte pro Liter; im Christianiafjord habe ich im Herbst bis 31550 gefunden, davon 13860 von Ceratium tripos (30. Oktober 1907). Dieser große Unterschied kann nur durch die Annahme erklärt werden, daß den Küstenmeeren wichtige Nährstoffe vom Lande zugeführt werden, die dort von den aufblühenden Algen verbraucht werden. Diese Annahme wird auch dadurch bestätigt, daß das reiche Phytoplankton sehr oft auf eine relativ dünne Oberflächenschicht begrenzt ist, die hydrographisch von den tieferen Schichten scharf abgegrenzt ist. Am 19. Februar 1912 war z. B. das Phytoplankton auf einer Station im Skagerack außerhalb Arendal in folgender Weise verteilt (nur Diatomeen sind aufgeführt, da die übrigen Algen nur sehr spärlich vertreten waren):

Tiefe in m Temperatur	0 0,40°	10 1,65°	20 5,18°	30 6,46°	40 6,75°
Diatomen, Zellen pro l	208 000	580 850	980	590	100
Davon Thalassiosira Nordenskiöldii	217 300	383 000	520	430	30

Solche Verhältnisse sind leicht zu erklären durch die Annahme, daß nur die Oberflächenschicht mit dem nahrungsreichen Süßwasser vom Lande gemischt wird.

Im offenen Meere wird der Gehalt von gelösten Pflanzennährstoffen nur langsam erneuert werden; die Zufuhr vom Lande wird meistens schon in den Küstenmeeren verbraucht werden, und sonst kann nur von der Atmosphäre eine geringe Menge von gebundenem Stickstoff, nach Brandts Schätzung für die Nordsee höchstens 6,3 mg pro m^3 in Frage kommen. Das Hochseeplankton ist darum von den Nährstoffen abhängig, die in der Hochsee selbst ihren Kreislauf durchmachen; die Algen leben von

Digitized by Google

den Stoffwechselprodukten der Tiere, die von den Bakterien gelöst und gespalten werden. Da aber nicht nur die pelagischen Tiere der euphotischen Zone, sondern die ganze Hochseefauna bis zu den größten Tiefen von der Produktion der Algen abhängig sind, wird ein großer Teil der von den Pflanzen assimilierten Nährstoffe in gebundenem Zustand in die Tiefe geführt werden. Die oberen Schichten, wo die Pflanzen assimilieren können, werden stetig einer bedeutenden Menge von Nährstoffen beraubt werden; wie Nathansohn präzisiert hat, können diese Nährstoffe nur dann den Pflanzen wieder zugänglich werden, wenn Vertikalströmungen oder Vertikalzirkulation Wasser aus der Tiefe nach oben führen. Mit dieser Theorie stimmt es ganz gut, daß ein besonders reiches Phytoplankton, namentlich von Diatomeen, in mehreren Fällen gerade unter solchen Umständen nachgewiesen worden ist, wenn eine starke Vertikalzirkulation bis zu großen Tiefen durch die Abkühlung der Oberflächenschichten stattgefunden hat. Auch in Süßwasserseen sind ähnliche Erfahrungen gemacht worden; es ist oft der Fall, wie Whipple nachgewiesen hat, daß das jährliche Maximum in die Jahreszeiten fällt, in denen die Vertikalzirkulation bis zum Boden geht, im Frühling und Herbst.

Im Meere sollten nach dieser Theorie diejenigen Gebiete planktonreich sein, wo der Wechsel der Jahreszeiten eine starke Vertikalzirkulation hervorbringt, während die konstanten Verhältnisse der tropischen Meere für die Entwickelung eines reichen Phytoplanktons ungünstig sein müssen. Das wird auch durch die bis jetzt ausgeführten Untersuchungen bestätigt; Hensen fand schon, daß namentlich die Sargassosee sehr arm war, und daß im allgemeinen die tropischen Teile des Ozeans ärmer waren als die nicht tropischen, und nach Lohmanns letzten, mit verbesserten Methoden ausgeführten Untersuchungen verhält sich die Bevölkerungsdichte des kühlen Wassers zu derjenigen der Warmwassergebiete durchschnittlich wie 5:1.

Die Auffassung, daß die Planktonproduktion des Meeres durch Mangel an wichtigen Pflanzennährstoffen begrenzt wird, so daß ein reicheres Plankton nur an solchen Stellen entsteht, wo Nährstoffe vom Lande oder aus der Tiefe zugeführt werden, wird durch alle bis jetzt ausgeführten Beobachtungen über die Verbreitung des Planktons gestützt.

Weniger übersichtlich sind die gewonnenen Resultate über das Vorkommen der gelösten Nährstoffe selbst. Brandt und seine Schüler haben viele Bestimmungen über die im Meerwasser vorkommenden Mengen von Stickstoffverbindungen, Phosphorsäure und Kieselsäure ausgeführt. Die Quantitäten sind so gering, daß die Variationen oft innerhalb der Fehlerquellen der Methode liegen, aber doch ziemlich groß im Verhältnis zu den Mengen, die gleichzeitig im Plankton selbst gebunden sind. Die gesamte Stickstoffmenge variiert in reinem Nordseewasser nach Rabens Untersuchungen zwischen 0,110 mg und 0,314 mg pro Liter; davon kommt 0,047 bis 0,124 mg auf unorganische Salze. Nach Gebbing variiert die Ammoniakmenge im offenen Ozean nicht wesentlich mehr als der Salzgehalt. Nach Bestimmungen von Helland-Hansen sind die Durchschnittswerte im norwegischen Nordmeere 0,070 bis 0,077 mg gebundener Stickstoff pro Liter, davon 0,062 bis 0,055 als organische Verbindungen. Etwas mehr scheint von der Phosphorsäure vorhanden zu sein, nach Rabens Bestimmungen etwas weniger als 1 mg pro Liter. Von Kieselsäure fand Raben in Nordseewasser 0,30 bis 1,03 mg, in Ostseewasser 0,20 bis 1,40 mg pro Liter.

Es ist schwer zu verstehen, wie die geringen Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung des Meereswassers, die bis jetzt nachgewiesen sind, die großen Variationen im Auftreten des Phytoplankton bewirken können; daß ein Zusammenhang besteht, scheint aber nach der Verbreitung des Planktons bewiesen zu sein; es wäre zu wünschen, daß die chemischen Untersuchungen in Zusammenhang mit quantitativen Planktonstudien noch weiter fortgesetzt würden; gleichzeitig müßten dann Kulturversuche mit Planktonalgen ausgeführt werden unter Kulturbedingungen, die den natürlichen Verhältnissen soweit möglich entsprechen, und mit Zusatz von geringen Mengen gelöster Nährstoffe, um die Einwirkung dieser Stoffe auf die Vermehrungsgeschwindigkeit der Algen zu prüfen. In Süßwasserseen ist es von Brönstedt und Wesenberg-Lund nachgewiesen, daß das Plankton in Stagnationsperioden die chemische Zusammensetzung des Wassers verändern kann, namentlich in bezug auf Kalk und Kieselsäure.

Verschiedene Untersuchungen sind auch ausgeführt über den Einfluß der Bakterien auf den Gehalt des Meeres an gebundenem Stickstoff. Nitrifizierende Bakterien sind in Bodenschlamm nachgewiesen, und denitrifizierende Arten kommen im freien Meereswasser ziemlich häufig vor. Ihre Abspaltung von freiem Stickstoff aus Nitraten und Nitriten geht wie andere Stoffwechselprozesse in der Wärme schneller vor sich als in der Kälte, und Brandt sieht darum in der Konkurrenz dieser Bak-

Digitized by Google

terien mit den Algen die wichtigste Ursache dafür, daß die warmen Meere ärmer als die temperierten sind. Auch diese Hypothese muß näher geprüft werden: nach der Ansicht des Verfassers ist sie überflüssig, da die gefundenen Tatsachen in der oben erwähnten Weise besser erklärt werden können; nach Ruppins und meinen eigenen Untersuchungen scheint es auch bewiesen zu sein, daß Denitrifikation nur dann stattfindet, wenn soviel organische Stoffe den Bakterien zugänglich sind, daß ein relativer Sauerstoffmangel entsteht.

Auch stickstoffbindende Bakterien, die mit Azotobacter und Clostridium des Ackerbodens identisch zu sein scheinen, sind von Benecke und Keutner und von Keding auf Meeresalgen nachgewiesen, auch an Planktonalgen aus der Kieler Föhrde. Wie groß ihre Bedeutung für den Stoffwechsel des Meeres sein mag, ist noch nicht näher untersucht.

Außer den Kohlensäure assimilierenden, gefärbten Algen kommt auch eine Reihe von Arten vor, die den gefärbten Peridineen und nackten Flagellaten morphologisch nahe stehen, die aber keine Chromatophoren haben und also darauf angewiesen sind, von organischer Nahrung zu leben. Von den häufigeren Formen gilt dies namentlich von den nackten farblosen Flagellaten, den marinen Peridiniumarten und einem Teil der Dinophysiden. Ihre Ernährungsweise ist noch unbekannt; die bepanzerten Formen jedenfalls leben wahrscheinlich von gelösten organischen Stoffen; Dogiel behauptet jedoch, daß sie auch feste Körper verdauen können, indem Protoplasma aus der Geißelspalte austritt. Ihre Verbreitung scheint ebenso wie diejenige der gefärbten Formen auf die photische Zone beschränkt zu sein. Bei einem Teil der farblosen Dinophysiden hausen sehr oft in besonderen Hohlräumen ihrer Zelle braune Flagellaten, die wahrscheinlich zur Ernährung ihres Wirtes beitragen (Ornithocercus, Histioneis, Citharistes). Im Süßwasser kommen verschiedene Formen vor, die größere oder geringere Mengen von gelösten organischen Stoffen vertragen und verwerten können, die also an der Selbstreinigung des Wassers teilnehmen und bei der biologischen Untersuchung des Trinkwassers in Betracht kommen.

Die pelagischen Tiere sind überwiegend auf die Aufnahme geformter Nahrung eingerichtet. Auch unter ihnen kommen jedoch Formen vor, die mit kleinen Algen regelmäßig in Symbiose leben und wahrscheinlich aus ihnen gelöste organische Stoffe erhalten (Radiolarien, Foraminiferen). Besonders interessant ist die kleine ciliate Infusorie Mesodinium rubrum, die nach Lohmanns Untersuchung kleine rote Flagellaten einfängt und in ihrem Plasma hält; wenn zuletzt eine große Zahl (bis 100) gesammelt worden ist, schließt sich die Mundöffnung des Tieres, und es lebt nur von den gelösten, von den Algen produzierten organischen Stoffen.

Nach der verschiedenen Weise, in welcher die Tiere ihre Nahrung sammeln, unterscheidet Lohmann Taster, Sedimentierer und Jäger. Die Taster halten ihren eigenen Körper in Ruhe, während sie in verschiedener Weise das umgebende Wasser auf Nahrung abtasten. Fernsinne fehlen ihnen oder sind rückentwickelt. Hierher gehören die Globigerinen und Radiolarien, die allseitig Pseudopodien in das Wasser entsenden und aus demselben Diatomeen, Peridineen und andere Pflanzen, aber auch so große Tiere wie Copepoden herausgreifen, durch ein Gift lähmen und nun entweder in ihren Körper einführen oder aber außerhalb desselben anverdauen und nur die Weichteile aufnehmen. Diese Ernährungsweise ist namentlich von Häcker und Rhumbler studiert worden. Die Siphonophoren, welche wie Physalia und Velella an der Oberfläche des Meeres treiben, tasten in ähnlicher Weise mit ihren Tentakeln das unter ihnen liegende Wasser ab. Auch bei ihnen lähmen zum Teil äußerst heftige Gifte die Beute, die bei den Physalien aus Fischen bestehen kann; die Tentakel können eine riesige Länge erreichen; so sollen bei Physalia 30 m lange Fangfäden beobachtet sein.

Eine höhere Stufe des Nahrungserwerbes wird durch die Sedimentierer gebildet, welche das sie umgebende Wasser in strömende Bewegung setzen und aus demselben die Organismen niederschlagen. Das so gewonnene Sediment dient als Nahrung; Fernsinne sind meist niedrig entwickelt; Bewegung ist stets vorhanden und oft eine sehr energische und ausgiebige, aber völlig ziellose, da sie nur die Aufgabe hat, eine Durchstreifung des Wassers zu gestatten. Viele niedere Krebse wie die meisten Cladoceren, viele Copepoden, die Nauplien der Cirripedien besitzen an ihren Mundextremitäten reusenartige Borstenbesätze, durch welche bei der Fortbewegung des Tieres das Wasser getrieben wird. Dabei lagern sich die in ihm enthaltenen Organismen auf den Borsten ab, werden an die Mandibeln weitergegeben, verrieben und in den Darm gebracht. Chun hat diese Nahrungsgewinnung bei den Cirripediennauplien beschrieben und in ihrem Darm Reste von Radiolarien, Globigerinen, Silicoflagellaten und Diatomeen nachgewiesen. Aehnliche Untersuchungen über Nahrung und Nahrungserwerb der Copepoden sind von Dakin und Lohmann ausgeführt, und Woltereck machte eingehende experimentelle Studien über Hyalodaphnia.

Digitized by Google

Pyrosomen, Salpen und Doliolen treiben fortgesetzt Wasser durch ihre enorme weite Kiemenhöhle, um nicht nur ihr Atembedürfnis zu decken, sondern zugleich auch sich selbst durch das Wasser hindurch zu bewegen. Aus dem strömenden Wasser werden durch Schleimfetzen, die die Endostyldrüse absondert, und die durch Wimperbänder in der Kiemenhöhle verteilt werden, die Schwebkörper festgehalten und in die Speiseröhre geführt. Die Appendicularien bilden ein Gehäuse mit einem feinen Reusenapparat, durch welchen das Wasser durch die Bewegungen des Schwanzes getrieben und filtriert wird; das Filtersediment wird schließlich von dem Tier aufgesogen.

Die Jäger bewegen sich gegen ihre Beute, um es zu erfassen und verzehren. Sie haben hoch entwickelte Fernsinne und sind imstande, sich rasch und zielmäßig zu bewegen. Lohmann meint, daß vielleicht zwei Typen unterschieden werden können, die er als Späher und Spürer bezeichnet. Die ersteren stehen ruhig an einem Punkte, wechseln plötzlich ihre Stellung nach einiger Zeit und fahren so fort, bis sie die Beute gefunden haben (Sagitten, Schizopoden, Decapoden). Die Spürer sind in steter Bewegung und durchschwimmen ihr Jagdgebiet nach allen Richtungen (Medusen, Polychaeten, nackte Pteropoden, Jungfische u. a.).

Die organischen Stoffe der gefangenen Pflanzen und Tiere werden nur teilweise verwertet; die Exkremente, die oft in den Planktonfängen gefunden werden, sinken mit ihrem Inhalt von Skeletteilen und ungelösten organischen Substanzen in die Tiefe.

Auffälligerweise sind oft die Pflanzen selbst in den oberen Schichten so spärlich vorhanden im Verhältnis zu den Tieren, daß es schwer zu verstehen ist, wie die Tiere Nahrung genug bekommen können. Pütter hat diese Frage verfolgt und nachgewiesen, daß gelöste organische Stoffe in relativ bedeutender Menge im Meereswasser vorhanden sein können. Nach Raben variiert die Menge in der Kieler Föhrde zwischen 10,9 und 13.9 mg pro Liter, als Kohlenstoff berechnet, während die im Plankton gebundene Kohlenstoffmenge nach Lohmann viel geringer gefunden wurde (0,013 bis 0,190 mg pro Liter). Nach Pütters Auffassung sind diese Stoffe für die Ernährung der Planktontiere wichtiger als die geformte Nahrung, die sie fangen können. Diese Theorie hat nur wenige Anhänger gefunden; sie hat aber jedenfalls weitere wertvolle Forschungen angeregt.

8. Geographische Verbreitung. Abhängigkeit von den Meeresströmungen. Die meisten Planktonorganismen und namentlich die ozeanischen haben eine sehr weite Verbreitung. Der Charakter der ozeanischen Fauna und Flora zeigt überall. wo die Lebensbedingungen ähnlich sind, eine große Uebereinstimmung. Die tropischen Arten sind nicht wesentlich verschieden im Atlantischen, Indischen und Pazifischen Ozean; vielleicht enthält der letztere noch eine größere Zahl von Arten als die beiden anderen; die meisten Arten kommen aber in den warmen Meeren in so geringer Menge vor, daß viele von ihnen bis jetzt nur in wenigen Individuen bekannt sind. Auch zwischen dem nördlichen Polarmeere und dem antarktischen herrscht große Uebereinstimmung, und viele der charakteristischen Tiere der Polarmeere leben auch in den kalten Wasserschichten in der Tiefe unterhalb der tropischen Fauna.

Viel größere Verschiedenheiten gibt es unter den neritischen Formen, ob auch manche eine große Verbreitung haben; die neritischen Diatomeen der beiden Polarmeere sind ganz verschieden; soweit bekannt, haben sie keine einzige Art gemeinsam. Es sind auch mehrere Arten bekannt, die auf ein relativ enges Gebiet beschränkt sind; die Diatomeen Streptotheca thamensis und Lithodesmium undulatum sind Lokalformen der südlichen Nordsee, und die Copepode Paracartia granii ist nur aus 2 bis 3 kleinen, fast geschlossenen Buchten der norwegischen Westküste bekannt.

Die Arten des Süßwasserplanktons haben ein sehr weites Verbreitungsgebiet.

Die Zahl der Arten nimmt von den Tropen gegen die Polarmeere stetig ab; andererseits kommen die Arten der kälteren Meere in einer so viel größeren Individuenzahl vor; eine Copepode wie Calanus finmarchicus gehört ohne Zweifel zu den häufigsten Arten der Erde.

Mit den Meeresströmungen können viele Arten weit außerhalb ihres eigentlichen Gebietes getrieben werden; Cleve konnte in vielen Fällen die Planktonorganismen als Stromweiser benutzen, als eine Kontrolle der hydrographischen Untersuchungen, die die Grenzen der verschiedenen Strömungen zu bestimmen suchen. Dänische (J. Schmidt) und norwegische (Hjort, Damas) Untersuchungen zeigen, daß viele rein atlantische Arten im Sommer durch die Faröe-Shetland-Rinne dringen und im Laufe des Herbstes immer weiter gegen Norden gefunden werden, wo sie aber sicher im Winter zugrunde gehen müssen (Salpa fusiformis, Arachnactis albida, Physophora borealis u. a.). Die Oberflächenströmungen, die im temperierten Meere hauptsächlich im Frühling und Sommer vom Lande in die offene See hinaus gerichtet sind, sind ebenfalls lange an ihrem Bestand an neritischen Arten (Diatomeen, Cladoceren, Medusen) kenntlich.

Eine Diatomee aus dem Indischen Ozean, **Biddulphia** sinensis, die im Jahre 1903 zum ersten Male in der Nordsee gefunden wurde, verbreitete sich hier im Laufe des Jahres mit den Strömungen gegen Norden so schnell, daß Ostenfeld dadurch die Stromgeschwindigkeit annähernd berechnen konnte.

Trotz allen den Veränderungen, die im Charakter des Planktons durch den Einfluß der Meeresströmungen hervorgerufen werden, bleibt doch der Planktonbestand der verschiedenen Gebiete im ganzen unverändert und für jedes Gebiet so charakteristisch, daß ein Fachmann den Ursprung einer Planktonprobe aus ihrem Artenbestand ziemlich sicher bestimmen kann. Es kann merkwürdig erscheinen, daß die Fauna und Flora eines Gebietes sich so konstant halten kann, während doch die belebten Wasserschichten immer fortgetrieben werden; wir können es nur so erklären, daß in den meisten Meeren die Strömungen zyklisch verlaufen, und selbst wo ein Strom auf einer längeren Strecke sich in einer bestimmten Richtung bewegt, mischt sich sein Wasser an den Grenzen durch Wirbelströmungen mit dem Wasser der benachbarten Strömungen, so daß die Pflanzen und Tiere, die bei den herrschenden Lebensbedingungen am besten gedeihen, auch in die neu einströmenden Wasserschichten eingeführt werden und bald die Ueberhand gewinnen.

Literatur. **A. Steuer,** *Planktonkunde. Leipzig und Berlin 1910.* — **Sir J. Murray and J. Hjort,** *The Depths of the Ocean. London 1912.* — *Nordisches Plankton, herausgegeben von* **K. Brandt** *und* **C. Apstein,** *I bis XXII. Kiel und Leipzig.* — **E. J. Allen and E. W. Nelson,** *On the Artificial Culture of Marine Plankton Organisms. Journ. Marine Biolog. Association, Bd. 8. Plymouth 1910.* — **C. Apstein,** *Das Süßwasserplankton. Kiel und Leipzig 1896.* — **K. Brandt,** *Ueber den Stoffwechsel im Meere, 1 bis 2. Wissenschaftl. Meeresuntersuchungen, N. F., Bd. IV und VI. 1899 und 1902.* — **Derselbe,** *Ueber Anpassungserscheinungen und Art der Verbreitung von Hochseetieren. Ergebnisse der Planktonexpedition, Bd. I, A. Kiel und Leipzig 1892.* — **C. Chun,** *Die pelagische Tierwelt in größeren Meerestiefen und ihre Beziehungen zu der Oberflächenfauna. Bibliotheca zoologica, Heft 1. 1887.* — **Derselbe,** *Die Beziehungen zwischen dem arktischen und antarktischen Plankton. Stuttgart 1897.* — *Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer. Bulletin trimestriel. Résumé des observations sur le plankton des mers explorées par le conseil pendant les années 1902 bis 1908, I bis II. Copenhague 1910 bis 1911.* — **H. H. Gran,** *Das Plankton des norwegischen Nordmeeres von biologischen und hydrographischen Gesichtspunkten behandelt. Report of Norwegian Fishery- and Marine Investigations, vol. II, nr. 5. Bergen 1902.* — **E. Haeckel,** *Plankton-Studien. Jena 1890.* — **V. Hensen,** *Ueber die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. V. Bericht der Kommission z. wissenschaftl. Untersuch. d. deutschen Meere. Kiel 1887.* — **Derselbe,** *Das Leben im Ozean nach Zählungen seiner Bewohner. Ergebn. d. Plankton-Expedition, Bd. V, O. Kiel und Leipzig 1911.* — **G. Karsten,** *Das Phytoplankton der Valdivia-Expedition. Wissenschaftl. Ergebnisse der deutschen Tiefseeexpedition, Bd. II, 2. Teil. 1907.* — **Ch. A. Kofoid,** *Mutations in Ceratium. Bulletin Mus. Comparat. Zoology, Harvard College, Bd. 52. 1909.* — **H. Lohmann,** *Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehalts des Meeres an Plankton. Wissenschaftl. Meeresuntersuchungen. N. F., Abt. Kiel, Bd. X. 1908.* — **Derselbe,** *Ueber das Nannoplankton und die Zentrifugierung kleinster Wasserproben zur Gewinnung desselben im lebenden Zustande. Internationale Revue für Hydrobiologie und Hydrographie, Bd. IV. 1911.* — **Derselbe,** *Die Probleme der modernen Planktonforschung. Verh. d. Deutschen Zoolog. Gesellschaft. Halle 1912.* — **A. Nathansohn,** *Ueber die allgemeinen Produktionsbedingungen im Meere. Internationale Revue Hydrob. und Hydrogr., Bd. I. 1908.* — **W. Ostwald,** *Theoretische Planktonstudien. Zoolog. Jahrbücher, Abt. Systematik, Bd. 18. 1903.* — **A. Pütter,** *Die Ernährung der Wassertiere. Zeitschrift f. allgemeine Physiologie, Bd. 7. 1907.* — **Derselbe,** *Die Ernährung der Wassertiere und der Stoffhaushalt der Gewässer. Jena 1909.* — **Fr. Schütt,** *Das Pflanzenleben der Hochsee. Ergebnisse der Plankton-Expedition, Bd. I, A. Kiel und Leipzig 1892.* — **R. Volk,** *Hamburgische Elbuntersuchungen. Mitteil. Naturhist. Museum Hamburg, Bd. 18. 1901.* — **C. Wesenberg-Lund,** *Von dem Abhängigkeitsverhältnis zwischen dem Bau der Planktonorganismen und dem spezifischen Gewicht des Süßwassers. Biolog. Centralbl., Bd. 20. 1900.* — **Derselbe,** *Studier over de danske Söers Plankton. Dansk ferskvandsbiologisk Laboratorium, I bis II. Kjöbenhavn 1904 und 1908.* — **Derselbe,** *Grundzüge der Biologie und Geographie des Süßwasserplanktons nebst Bemerkungen über Hauptprobleme zu künftigen limnologischen Forschungen. Internationale Revue Hydrob. und Hydrogr. Biol. Supplement, ser. 1. 1910.* — **G. H. Whipple,** *The Microscopy of Drinking Water. New York 1899.* — **R. Woltereck,** *Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphniden. Verhandl. Deutsch. Zool. Gesellsch. 19. Jahresvers. 1909.*

H. H. Gran.

Plateau

Joseph Antoine Ferdinand.

Geboren am 14. Oktober 1801 in Brüssel, gestorben am 15. September 1883 in Gent. Er studierte in Lüttich, war Professor der Physik in Gent, seit 1834 Korrespondent und seit 1836 Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Brüssel. Im Jahre 1840 erblindete er, setzte aber mit

Hilfe seiner Schüler seine Untersuchungen fort. Seine Arbeiten beschäftigen sich vorzugsweise mit Optik und Kapillarität; eine Anzahl instruktiver und schöner Versuche des letzteren Gebietes tragen seinen Namen.

E. Drude.

Plathelminthes.

1. Die Klasse Plathelminthes. 2. Morphologie (und Physiologie): a) Körperform. b) Körperbedeckung. c) Muskulatur. d) Rüssel- und Saugorgane. e) Parenchym. f) Verdauungsapparat. g) Excretionsapparat. h) Blutgefäßsystem. i) Nervensystem. k) Sinnesorgane. l) Geschlechtsorgane. m) Geschlechtsprodukte. 3. Entwickelung. 4. Systematik und Phylogenie. 5. Biologie. 6. Geographie.

1. Die Klasse Plathelminthes. Die Klasse der Plattwürmer verdankt ihre Aufstellung C. Vogt, der 1851 (Zoologischen Briefe) als erster die Ordnungen der Strudel-, Saug-, Band- und Schnurwürmer (Turbellaria, Trematodes, Cestodes, Nemertini) unter dem Namen Platyelmia zu einer systematischen Einheit zusammenfaßte. Die Zusammengehörigkeit dieser Ordnungen, die bis dahin entweder in der großen, die parasitischen Würmer und noch einiges mehr umfassenden Sammelgruppe der Entozoa untergebracht oder aber auf verschiedene Klassen der Würmer verteilt zu werden pflegten, war so offensichtlich, daß die neue Klasse rasch allgemeine Anerkennung fand; nur ihr Name wurde nacheinander in Platodes (Leuckart 1854), Platyelminthes (Gegenbaur 1859) und Plathelminthes abgeändert. Letztere Bezeichnung, die sich am meisten eingebürgert hat, stammt von A. Schneider (Untersuchungen über Plathelminthes 1873).

Vorübergehend wurden auch die Hirudineen den Plattwürmern zugezählt, bis man erkannte, daß sie nach Bau und Entwickelung zu den Ringelwürmern gehören. Umgekehrt wurden von manchen Autoren die Nemertinen aus der Gemeinschaft der Plathelminthen ausgeschlossen und statt dessen mit den Anneliden verbunden. Auch diese Anschauung dürfte jetzt ziemlich allgemein zugunsten der C. Vogtschen Abgrenzung der Plathelminthenklasse aufgegeben sein. Sowohl die Trematoden und Cestoden, wie die Nemertinen fügen sich so gut den Turbellarien an, daß an ihrer Verwandtschaft nicht zu zweifeln ist. Von den übrigen Würmern werden die Plathelminthen durch die Ausfüllung ihres meist abgeplatteten Körpers mit einem dichten, von Muskelfasern durchsetzten Füllgewebe, das keinen Raum für eine echte Leibeshöhle läßt, zugleich durch den Besitz eines einfachen Hirnes ohne Bauchmark und eines von Protonephridien gebildeten Excretionsapparates in charakteristischer Weise unterschieden.

Die Vielgestaltigkeit der Formen, die in den einzelnen Ordnungen enthalten sind, macht in systematischer Beziehung weitgehende Unterteilungen nötig, von denen im folgenden vielfach Gebrauch zu machen sein wird. Die Bedeutung der angewandten Namen und der Umfang der einzelnen Kategorien ergibt sich aus der in Abschnitt 4 enthaltenen Uebersicht über das System.

2. Morphologie (und Physiologie). 2a) Körperform. Die Plathelminthen sind bilateral-symmetrische Würmer und meist in dorsoventraler Richtung abgeflacht. Der Grad der Abplattung schwankt bei den einzelnen Familien und Gattungen der Turbellarien, Trematoden und Nemertinen in hohem Maße; ihre Körpergestalt zeigt daher alle Uebergänge von blatt- oder bandförmigem bis zu drehrundem Habitus. Ausgesprochene Bandform ist für die Mehrzahl der Cestoden charakteristisch. Auch die Körperlänge wechselt sehr; neben Formen von mikroskopischer Kleinheit finden sich in allen Gruppen solche von ansehnlicher Größe.

Unter den Turbellarien messen einzelne Landtricladen 60 und mehr cm, unter den Trematoden wird Nematobothrium 1 bis 1,50 m lang, bei den Cestoden und Nemertinen wird eine Länge von mehreren bis vielen Metern erreicht. Riesenexemplare von Taenia saginata oder von Lineus longissimus, für die Maße bis zu 30 m angegeben werden, gehören überhaupt zu den längsten der existierenden Tiere.

In vielen Fällen (Fig. 7) läßt sich die stärker gewölbte Rückenfläche ohne weiteres von der flacheren, oft planen oder sogar konkav eingekrümmten Bauchfläche unterscheiden. Bei den Turbellarien, Trematoden und Nemertinen ist die Bauchseite meist durch die Mundöffnung charakterisiert (Fig. 9); häufig trägt sie auch die Geschlechtsöffnungen. Schwierigkeiten in der Orientierung bestehen nur bei den Cestoden ohne bauchständige Uterusöffnung; man bezeichnet hier diejenige Fläche als dorsal, der die männlichen (Fig. 20), diejenige als ventral, der die weiblichen Geschlechtsdrüsen genähert sind. Das Vorderende ist stets durch das in seiner Nähe gelegene Zentralnervensystem, bei den meisten Trematoden und bei den Nemertinen auch durch die Nähe des Mundes ausgezeichnet (Fig. 19). Bei den Cestoden wird es von dem Kopfglied oder Scolex gebildet (Fig. 27). Am Hinterende der Nemertinen mündet der After (Fig. 17).

Bei den Turbellarien, Trematoden und Nemertinen ist der Körper stets ungegliedert, wenn auch bei manchen Tricladen und vielen Nemertinen durch eine regelmäßige Wiederholung innerer Organe eine gewisse Segmentierung (Pseudometamerie) angedeutet wird. Bei den Cestoden besteht der Körper da-

gegen meist aus einer größeren oder geringeren Zahl hinter dem Scolex zu einer Kette (Strobila) aneinandergereihter Glieder (Proglottiden), die von vorn nach hinten an Größe zunehmen (Fig. 27).

2b) Körperbedeckung. Die Beschaffenheit der Haut zeigt bei den Plathelminthen zwei verschiedene Typen: die Turbellarien und Nemertinen besitzen übereinstimmend ein weiches, einer festen Cuticula entbehrendes, einschichtiges Wimperepithel, die Trematoden und Cestoden dagegen eine derbe, elastische Cuticula, deren Matrix in der Regel drüsenartig in das Parenchym eingebettete Subcuticularzellen bilden.

Bei den Turbellarien setzt sich das Epithel bald aus platten, bald aus kubischen oder zylindrischen Zellen zusammen, die an ihrer freien Oberfläche dicht mit Wimpern besetzt sind (Deckzellen). Dazwischen eingestreut finden sich häufig wimperlose, oftmals von Drüsenausführungsgängen durchbohrte, kleine Wärzchen tragende Kleb- oder Haftzellen. Der Wimperschlag dient zur Erzeugung eines für die Respiration notwendigen Wasserstromes, kommt aber häufig auch der Lokomotion zugute. Bisweilen werden die kernhaltigen Leiber der Epithelzellen nach innnen verlagert (Fig. 1), während ihre peripheren Abschnitte zu einer kernlosen, zusammenhängenden Protoplasmaschicht verschmelzen („eingesenktes Epithel“).

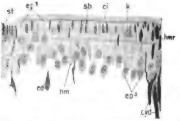


Fig. 1. Stück eines Querschnitts durch das ventrale Integument einer Landtriclade (Bipalium kewense). ci Wimpern; cyd Ausführgänge von cyanophilen, ed von erythrophilen Drüsen; ep_1, ep_2 zum Teil, bezw. ganz eingesenkte Epithelzellen; hm Längs-, hmr Ringfasern des Hautmuskelschlauchs; k nicht versenkter Kern des Epithels; sb Sekretballen erythrophiler Drüsen; st Rhabditen. Nach v. Graff.

Auch die Hautdrüsenzellen sind bei den Turbellarien vielfach unter das Epithel versenkt. Sie zerfallen in zwei Kategorien, solche die „ungeformte“ und solche die „geformte“ Sekrete liefern. Die ungeformten Sekrete bestehen aus einer mehr oder minder zähen Flüssigkeit von verschiedener chemischer Beschaffenheit, auf Grund deren man cyanophile und erythrophile Drüsen (Fig. 1 cyd, ed) unterscheiden kann. Die geformten Sekrete (Morphite, Hyaloide) werden je nach der ihnen eigentümlichen Gestalt als Pseudorhabditen, Rhabdoide oder Sagittocysten bezeichnet.

Die Pseudorhabditen oder Schleimstäbchen sind unregelmäßig geformte Zelleinschlüsse, deren Substanz granuliert erscheint. Die Rhabdoide besitzen charakteristische „Stäbchen“-gestalt und zerfallen wieder in homogene bald innerhalb des Epithels (dermale Stäbchen) bald in Drüsenzellen des Parenchyms (adenale St.) zur Bildung gelangende Rhabditen (Fig. 1st), und in ausschließlich adenal entstehende Rhammiten, bei denen eine körnige Zentralmasse von einem hyalinen Mantel umgeben ist. Die langgestreckten, mit Rhabdoiden erfüllten Ausführgänge adenaler Stäbchendrüsen bilden bisweilen sog. Stäbchenstraßen. Die Sagittocysten sind hohle Stäbchen, die eine spitzige, ausstoßbare Nadel enthalten. — Nesselkapseln (Nematocysten), die sich in der Haut einzelner Turbellarien (Microstomum u. a.) finden und früher gleichfalls den Stäbchenbildungen angeschlossen wurden, haben sich als Fremdkörper, die aus gefressenen Hydroidpolypen stammen, erwiesen.

Die Haut der Nemertinen wird stets von hohen Wimperzellen gebildet, zwischen die massenhaft Drüsenzellen eingelagert sind, teils einzeln, teils zu Bündeln (Paketdrüsen) vereinigt. Ihr Sekret ist homogen oder körnig und häufig lebhaft gefärbt. Geformte Sekrete kommen für gewöhnlich in der äußeren Haut nicht zur Abscheidung (wohl aber im Rüsselepithel, s. S. 956); doch sind ihr bei einzelnen Formen Kalkkörperchen (Stichostemma), kristallähnliche Gebilde (Cephalothrix) oder sichelförmig gekrümmte Häkchen (Emplectonema echinoderma) eingelagert. Wimper- und Drüsenzellen werden durch ein interstitielles Gewebe zusammengehalten, das oft stark pigmenthaltig ist.

Besonders ausgezeichnete Komplexe einzelliger Drüsen finden sich bei den acölen Turbellarien und Nemertinen häufig am Vorderende (Stirn- oder Kopfdrüsen), wo ihre Ausführungsgänge zu Bündeln vereinigt (Frontalorgan, Fig. 9 fr) münden. Sie reichen vielfach tief in das Parenchym hinein.

Unter dem Epithel breitet sich bei den meisten Turbellarien eine bald strukturlose, bald aus mehreren Schichten zusammengesetzte Basalmembran aus. Bei den Nemertinen findet sich subepithelial entweder eine rein bindegewebige, entfernt gallertähnliche Grundschicht (Paläo-, Metanemertinen, Fig. 7 bm), die bisweilen beträchtliche Dicke erreicht, oder eine kräftige Cutis, die zahlreiche, versenkte Drüsenzellen und häufig auch Muskelfibrillen führt (Heteronemertinen).

Digitized by Google

So eigenartig der Bau der Körperdecke der Trematoden und Cestoden auch erscheint, so wird er doch in mancher Beziehung bereits bei den Turbellarien vorbereitet, einmal durch die Versenkung des Epithels, sodann durch eine besonders bei den parasitischen Formen unter den Strudelwürmern zu beobachtende, mehr oder minder weitgehende Rückbildung des Wimperkleides. Einen weiteren Uebergang bilden die Temnocephalen, die noch ein Epithel besitzen, das aber bereits statt der Wimpern eine Cuticula von wechselnder, bisweilen recht ansehnlicher Dicke trägt (Wacke, Zool. Jahrb. Suppl. VI, Bd. 3, 1903). Bei den eigentlichen Trematoden und bei den Cestoden (Fig. 2) findet sich statt dessen nur eine ziemlich resistente, elastische Cuticula von verschiedener Mächtigkeit, die direkt der Außenschicht (Basalmembran) des Parenchyms aufgelagert ist. Sie steht hier meist mit den Ausläufern zahlreicher, in das Parenchym eingebetteter birnen- oder spindelförmiger Zellen (Subcuticularzellen) in Verbindung, die in ein- bis zweischichtiger Lage angeordnet sind, ohne jedoch ein eigentliches Epithel zu bilden. Aller Wahrscheinlichkeit nach stellt die Cuticula ein Absonderungsprodukt dieser Zellen dar, weshalb man letztere auch als in die Tiefe eingesenkte Epithelzellen aufgefaßt und mit dem Epithel der Turbellarien homologisiert hat.

Ueber die Epithelfrage bei den Trematoden und Cestoden ist vielfach diskutiert worden. Da die Larven der Trematoden und einzelner Cestoden anfangs ein Wimperepithel besitzen (Fig. 15, 40), das später schwindet und durch die Cuticula ersetzt wird, haben manche Forscher die Cuticula als Basalmembran, die bei dem Verluste des Epithels übrig geblieben sei, gedeutet, und demgemäß angenommen, daß den Trematoden und Cestoden ein äußeres Epithel, wie es sonst in der ganzen Tierreihe vorkommt, überhaupt fehle. Der gleichen Ansicht sind eine Anzahl Forscher, die in den Subcuticularzellen wegen ihrer Lage Parenchymzellen und folglich in der Cuticula eine Ausscheidung des Parenchyms erblicken. Andere Autoren nehmen an, daß bei der Metamorphose nur ein Teil des Epithels verloren gehe, während der übrigbleibende Rest sich unter Degeneration der Kerne direkt in die Cuticula verwandle. Die größte Wahrscheinlichkeit besitzt wohl die Deutung der Subcuticularzellen als eingesenktes Epithel. Wenn man dagegen eingewandt hat, es sei noch niemals, weder bei Trematoden noch bei Cestoden, das Einsinken von Epithelzellen in die Tiefe beobachtet worden, so ist das entwickelungsgeschichtlich belanglos, da bei vielen Plathelminthen eine eigentliche Sonderung der Keimblätter nicht erfolgt, und das dem Ektoderm äquivalente Material durchaus nicht von Anfang an in seiner Gesamtheit oberflächlich gelagert zu sein braucht. Der Deutung der Cuticula als parenchymale Bildung gegenüber ist darauf hinzuweisen, daß auch bei vielen Turbellarien zweifellos ektodermale Elemente in parenchymaler Lage entstehen (s. Abschnitt 3).

Die Cuticula setzt sich auch in die Oeffnungen der inneren Organe eine Strecke weit fort und erscheint bald homogen (Trematoden), bald in mehrere durch ihre Struktur oder ihr Verhalten gegen Farbstoffe unterscheidbare und von feinen Kanälchen durchsetzte Lagen gesondert (Cestoden). Ihre Oberfläche trägt bei vielen Arten haar- oder schuppenartige Fortsätze (Fig. 11 s), Stacheln oder Dornen, ebenso sind die Haken am Scolex der Cestoden (Fig. 4 A, h) und die chitinösen, besonders bei den ectoparasitischen Formen (Fig. 37, l) sehr mannigfaltig gestalteten Klammerorgane der Trematoden cuticulare Bildungen. Bei den Trematoden kommen außer den ihrer Natur nach drüsenartigen Subcuticularzellen an bestimmten Stellen des Körpers einzelne oder in Gruppen zusammenliegende Hautdrüsen vor (Kopf- [Fig. 15 Kdr, 37 b], Bauch-, Rückendrüsen, bei den Temnocephalen auch Rhabditendrüsen); bei den Cestoden sind Drüsen nur ausnahmsweise vorhanden (Frontaldrüsen von Amphilina).

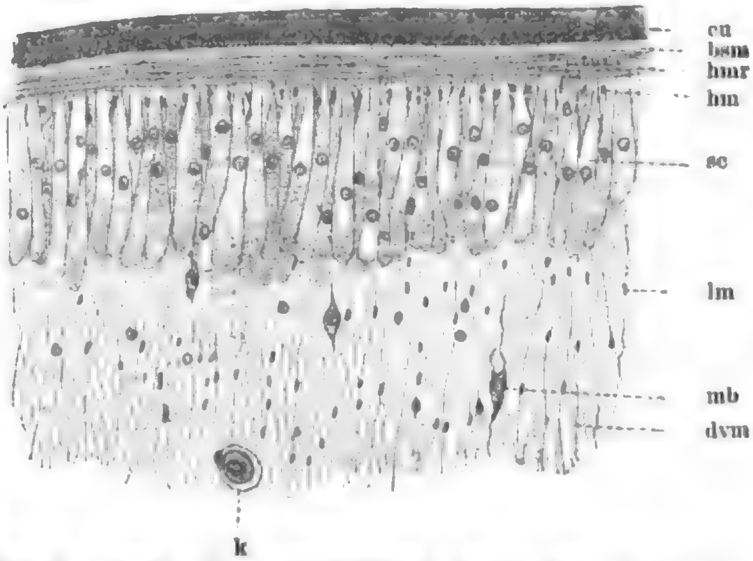


Fig. 2. Stück eines Querschnitts durch Taenia saginata. bsm Basalmembran; cu Cuticula; dvm Dorsoventral-, lm Längsmuskelfasern des Parenchyms; hml Längs-, hmr Ringfasern des Hautmuskelschlauchs; k Kalkkörperchen; mb Myoblast; sc Subcuticularzellen. Nach K. C. Schneider.

2c) Muskulatur. Bei allen Plathelminthen zerfällt die Muskulatur in den Hautmuskelschlauch und in die Körpermus-

keln. Ersterer liegt unter der Basalmembran des Wimperepithels oder der Cuticula und setzt sich aus mehreren, deutlich gesonderten Schichten zusammen, innerhalb deren alle Fasern in bestimmter Richtung verlaufen. Die Fasern der Körpermuskulatur durchsetzen entweder das Parenchym, um, zwischen den verschiedenen Organen des Körpers hindurchziehend, gegenüberliegende Stellen der Haut miteinander zu verbinden (Parenchymmuskeln), oder sie stehen im Dienste einzelner Organe, deren Bewegungen sie besorgen (Organmuskeln).

Die Muskelfasern erscheinen bald homogen, durch und durch aus kontraktiler Substanz bestehend, bald läßt sich an ihnen eine zartfaserige oder stärker lichtbrechende Rindensubstanz von einer homogenen oder äußerst feinkörnigen, inneren Masse, vereinzelt (z. B. an den Rüsselretraktoren der Kalyptorhynchia) auch eine Art Querstreifung unterscheiden. Sie sind wahrscheinlich überall die Produkte von Myoblasten (Fig. 2 mb), die teils dauernd als verhältnismäßig große, mit den Fibrillen durch Ausläufer in Verbindung stehende oder ihnen buckelförmig aufsitzende Zellen erhalten bleiben, teils im Vergleich zur kontraktilen Substanz verkümmern und dann nur noch unbedeutende, den Kern enthaltende, plasmatische Anschwellungen der Muskelfasern bilden.

Der Hautmuskelschlauch besteht mindestens aus zwei Schichten, einer äußeren Ringmuskelschicht und einer darunter gelegenen, inneren Längsmuskelschicht (Fig. 1,2 hmr, hml). Zur Verstärkung kann entweder noch eine aus zwei die Medianebene kreuzweise unter 45° schneidenden Lagen bestehende Diagonalfaserschicht hinzukommen, oder es können einzelne der Schichten verdoppelt sein. Wo die Bauchseite als Kriechsohle ausgebildet ist (Turbellarien) oder starke Haftorgane trägt (Trematoden), zeichnet sie sich durch besonders kräftige Entwickelung der Hautmuskulatur aus.

Aus den genannten zwei Schichten besteht der Hautmuskelschlauch bei den Cestoden (Fig. 2), Paläo- (Fig. 7) und Metanemertinen, ferner bei manchen Rhabdocölen und einzelnen Trematoden. Bei den Heteronemertinen findet sich außer der inneren noch eine äußere, die Ringfaserschicht umgebende Längsmuskelschicht; vielfach sind bei den Nemertinen auch diagonale oder radiale Fasern ausgebildet. Bei vielen Turbellarien sind drei Schichten vorhanden: eine äußere Ring-, eine mittlere Diagonal- und eine innere Längsfaserschicht. Dieselben Schichten bestehen bei den Trematoden, nur daß hier in der Regel die Diagonalfasern zu innerst liegen. Die größte Schichtenzahl (5 bis 6) wird für die Polycladen angegeben.

Die Parenchymmuskeln durchsetzen das Parenchym in den verschiedenen Richtungen des Raums, doch sind gewöhnlich die von der Rücken- zur Bauchfläche hinuntersteigenden Fibrillen (Dorsoventralmuskeln) bedeutend stärker entwickelt als die longitudinalen und transversalen. Die Enden der Fibrillen inserieren am Integument, nachdem sie sich vor dem Herantreten an den Hautmuskelschlauch pinselartig aufgefasert haben (Fig. 2 dvm).

Bei den Turbellarien sind außer den genannten noch vielfach Tangentialfasern entwickelt, die Punkte des Bauches oder Rückens mit solchen der Seitenwände des Körpers verbinden. Bei den Cestoden zeichnen sich die longitudinalen und transversalen Faserbündel der Parenchymmuskulatur (Fig. 20 lm, trm) durch ihre mächtige Entfaltung aus; dabei liegen die Längsfasern nach außen von den queren, die, zu einem starken Blatt angeordnet, in jeder Proglottis eine innere Mark- von einer peripheren Rindenschicht sondern. Bei den meisten Paläo- und einzelnen Heteronemertinen findet sich in parenchymaler Lage, genetisch aber wohl zur Hautmuskulatur gehörig, ein aus Ringfasern zusammengesetzter Muskelschlauch (innere Ringmuskelschicht), der Vorderdarm und Rhynchocölom umschließt, bei einzelnen Carinellaspezies aber noch weiter nach hinten reicht. Er ist häufig dorsal, bisweilen auch ventral durch „Muskelkreuze" mit der äußeren Ringmuskelschicht verbunden.

Die Organmuskeln sind als Derivate der Haut- oder Parenchymmuskeln aufzufassen, die sich in den Dienst spezieller Organe gestellt haben. Hierher gehören die Muskeln, die sich an die Haken und Klammerorgane, an den Pharynx (Fig. 11 ptr, rtr), die Rüsselbildungen und Saugorgane, an Organe des Genitalapparates usw. anheften.

2d) Rüssel- und Saugorgane. Durch besondere Ausbildung der Muskulatur wird das Vorderende des Körpers, das bei vielen Turbellarien eine erhöhte Kontraktilität aufweist, in einigen Gattungen und Familien der Rhabdocöliden zu einem Rüssel umgestaltet, der bald nur einen scharf abgesetzten Kopflappen bildet (Alaurina), bald einstülpbar (Rhynchomesostoma), bald dauernd eingescheidet (Kalyptorhynchia, Fig. 45) ist.

Gleichfalls durch kräftige Entwickelung der Muskulatur besonders differenzierte Abschnitte der Körperwand stellen die mannigfaltigen Saugorgane dar, die sich bei den Plathelminthen weit verbreitet finden. Bereits bei den Turbellarien sind zahlreiche Formen, darunter auch viele freilebende, mit saugnapfähnlichen Bildungen ausgestattet. Besonders charakteristisch sind jedoch die Saugnäpfe für die parasitischen Trematoden und Cestoden, die sich damit an oder in ihren Wirten befestigen.

Je nachdem, ob es sich um gut gegen die Umgebung abgesetzte Organe oder bloß um mehr oder weniger tiefe Gruben mit nicht scharf ab-

Digitized by Google

gegrenzter, muskulöser Wandung handelt, unterscheidet man Saugnäpfe und Sauggruben. Letztere, die den niederen Zustand repräsentieren, finden sich bei einzelnen Tristomiden und — als Bothrien bezeichnet — bei den Cestodarien und Pseudophyllideen. In größerer Zahl nebeneinander in einer oder mehreren Reihen angeordnet bilden sie die eigentümlichen Haftscheiben der Aspidobothriiden (Fig. 3).

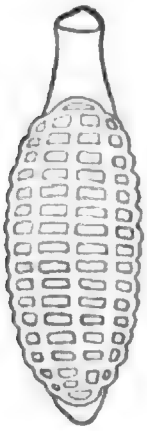


Fig. 3. Aspidogaster conchicola. Ventralansicht des Wurms mit der Haftscheibe. Nach Lühe. Aus Brauer.

Unter den Saugnäpfen unterscheidet man wieder die eigentlichen Saugnäpfe oder Acetabula (Fig. 19 ms, bs) von rundlicher Gestalt, die nicht oder nur wenig vorspringen und stets eine scharf gesonderte Muskulatur besitzen (Mehrzahl der Trematoden, einzelne Tetraphyllideen, alle Cyclophyllideen) und die sogenannten Bothridien (Fig. 4), langgestreckte, über die benachbarte

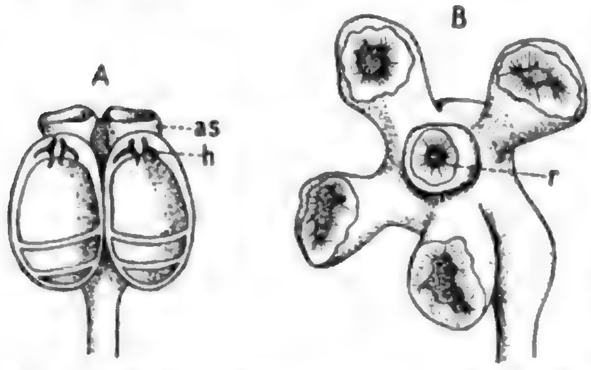


Fig. 4. Scoleces zweier Tetraphyllideen: A von Calliobothrium filicolle, B von Echeneibothrium variabile. as accessorische Saugnäpfe; h Haken am oberen Rande der in drei Areolen zerlegten Bothridien von A. r rostellarer Saugnapf auf dem Scheitel von B; die Bothridien sind hier sehr langgestreckt. Nach Zschokke und Linton. Aus Benham.

Fläche hervorragende, bisweilen sogar gestielte Saugorgane von großer Beweglichkeit, deren schüsselförmige Innenfläche häufig durch Septen in eine größere Zahl von Areolen zerlegt wird, deren Muskelwand aber nach innen nicht immer scharf gegen das angrenzende Parenchym abgesetzt zu sein braucht (Tetrarhynchidae, Diphyllidea und viele Tetraphyllidea). Bei den Tetraphyllideen und den ektoparasitischen Trematoden sind die Saugorgane vielfach mit Haken bewaffnet (Fig. 4A); bei den Octo- und Microcotyliden werden sie in der Regel von Chitinspangen gestützt, die scharnierartig gegeneinander beweglich sind (Saugklappen).

Ein weiteres Anheftungsorgan ist in dem Rostellum der Di- und Cyclophyllideen unter den Cestoden gegeben, einem scharf abgesetzten, von elastischem Gewebe erfüllten, vielfach mit Haken besetzten Muskelzapfen oder -kissen im Zentrum des Scolexvorderendes, das durch Kontraktion seiner Muskulatur vorgetrieben werden kann, wobei sich die Wölbung seiner Oberfläche und damit die Stellung der Haken verändert.

Fig. 5. Schema der Rostellumwirkung. Beim Vorstoßen des Rostellums (r) wird der Hakenkranz umgelegt (rechts), beim Zurückziehen (links) aufgerichtet. l longitudinale, s schalenartig verlaufende Muskeln. Aus R. Hertwig.

Vielfach, besonders bei den Taenien der Vögel (Fig. 27), ist das Rostellum in eine muskulöse Scheide (Receptaculum rostelli) zurückziehbar. Bei der Taenia solium des Menschen und den großhakigen Taenien der Raubsäugetiere kommen zu der Eigenmuskulatur des Rostellums noch sekundäre, seine Basis schalenartig umfassende Muskeln hinzu (Fig. 5). Bei den unbewaffneten (hakenlosen) Taenien wandelt sich das Rostellum in verschiedener Weise um, bisweilen tritt ein saugnapfartiges Gebilde (Stirnnapf) an seine Stelle (T. saginata des Menschen). In einzelnen Fällen kann der ganze Scolex früh verloren gehen und durch einen aus den umgewandelten vordersten Proglottiden entstehenden „Pseudoscolex" ersetzt werden (Fimbriariidae).

Bei den Tetrarhynchiden trägt der Scolex 4 am Scheitelende der Bothridien mündende, auf ihrer ganzen Außenfläche mit Haken besetzte hohlzylinderartige Rüssel (Fig. 6), die

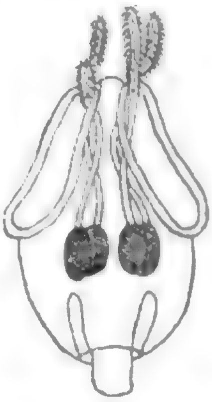


Fig. 6. Tetrarhynchus paleaceus, Finne. Nach Lühe. Aus Brauer.

einmal durch muskulöse, ihr Inneres durchziehende Retraktoren eingestülpt werden können, so daß die Haken nach innen zu liegen kommen, außerdem aber noch in

Digitized by Google

besondere, mit einem muskulösen Bulbus ausgestattete Scheiden retrahierbar sind.

Wahrscheinlich sind diese Rüssel von akzessorischen Saugnäpfen abzuleiten, wie sie sich bei manchen Tetraphyllideen oberhalb der Bothridien finden (Fig. 4 A, as).

Unter den digenetischen Trematoden ist die Gattung Rhopalias mit 2 hakentragenden Rüsseln von ähnlichem Bau ausgestattet.

Einen höchst charakteristischen **Rüsselapparat** besitzen endlich die Nemertinen. Der Körper wird hier bald in seiner ganzen Länge (Fig. 17), bald nur in seiner vorderen Hälfte von einem ein- und ausstülpbaren, zylindrischen Muskelschlauch (**Rüssel, Proboscis**) durchzogen, der in einer dorsal vom Darm gelegenen, nach außen und innen vollkommen abgeschlossenen, muskulösen Scheide (**Rhynchocoelom**, Fig. 7 rc) ruht und in ihr durch einen

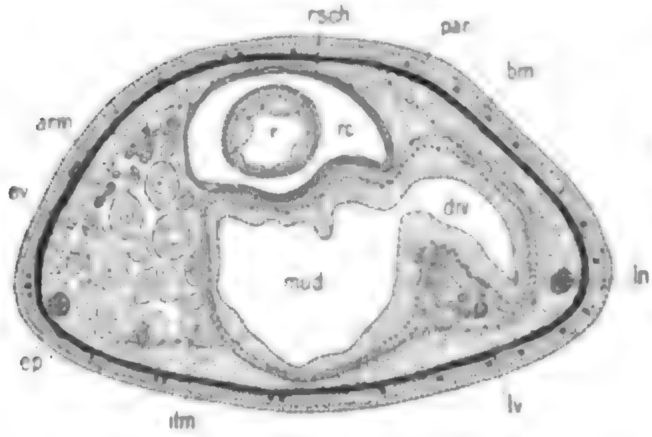


Fig. 7. Querschnitt durch die Mitteldarmregion einer Paläonemertine (*Carinoma mutabilis*). ärm äußere Ring-, ilm innere Längsmuskelschicht; bm Grundschicht (Basalmembran); ep Epithel; ln Seitennerv; lv laterales Blutgefäß; mud Mitteldarm mit Divertikel div; ov Ovarium; par Parenchym; r Rüssel; rc Rhynchocoelom; rsch muskulöse Rüsselscheide. Nach Coe.

im Falle der Ausstülpung als Retraktor dienenden Muskel festgeheftet ist. Von der Gehirngegend aus, wo er rings mit der Wand des Rhynchocöloms verwachsen ist (Fig. 12), setzt sich der Rüsselschlauch bis zu seiner stets ventral und meist in der Nähe der Kopfspitze gelegenen Ausmündung (**Rhynchostom**) als ein kurzes Rohr (**Rhynchodäum**) fort, durch das der Rüssel nach außen geworfen wird. Meist dient der Rüssel als Angriffs- oder Verteidigungswaffe; einzelne Formen benutzen ihn aber auch, um sich in den Meeresboden einzugraben (Wilson, Quart. Journ. Micr. Sc. (2) **43**, 1900).

Das Rhynchodäum ist überall von einem als Fortsetzung der Körperhaut zu betrachtenden Wimperepithel ausgekleidet; die Wandung des Rüssels leitet sich vom Hautmuskelschlauch her und zeigt daher im allgemeinen bei den Heteronemertinen 3, bei den übrigen Nemertinen 2 Schichten, die bei eingestülptem Rüssel natürlich umgekehrt wie in der Körperwand gelagert und von einem hohen Innen- und einem gegen das Rhynchocoelom gekehrten, niederen Außenepithel überkleidet sind. Der Rüssel der Metanemertinen, der noch eine Ringmuskelschicht mehr besitzt, zeichnet sich fast immer durch eigenartige Bewaffnung mit stilettartigen Stacheln aus, die in der Ruhe etwa in der Mitte des Rüssels auf einem muskulösen, den Rüsselzylinder in einen vorderen und hinteren Abschnitt zerlegenden Polster (Diaphragma) ihren Sitz haben, bei ausgestülptem Rüssel aber an sein vorderstes Ende zu liegen kommen. Von diesen Stacheln wird einer, der median auf einer kegelförmigen Basis befestigt und besonders kräftig entwickelt ist, als **Angriffsstilett** bezeichnet, während kleinere, in seitlichen, drüsigen Taschen des Diaphragmas gelegene Stacheln von wechselnder Zahl als **Neben- oder Reservestiletts** gelten (Fig. 8). Neben dem Angriffsstilett mündet ein

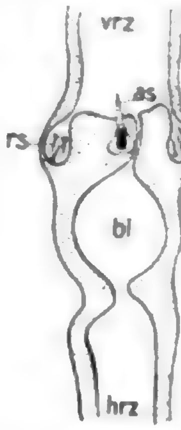


Fig. 8. Schematischer Längsschnitt durch den die Stiletts tragenden Abschnitt eines Metanemertinenrüssels. as Angriffsstilett; bl ballonartige Erweiterung des hinteren Rüsselzylinders hrz; rs Reservestiletts; vrz vorderer Rüsselzylinder.

enger, das Diaphragma durchsetzender Kanal, der sich nach hinten ballonartig erweitert und mit dem hinteren Rüsselabschnitt kommuniziert. Dieser sezerniert wahrscheinlich eine giftige Flüssigkeit, die bei ausgestülptem Rüssel in die von den Stiletts erzeugte Wunde eingespritzt wird. Bei den unbewaffneten Nemertinen (Paläo-, Heteronemertinen) vertreten Massen den Rhabditen der Turbellarien gleichender Stäbchen oder nesselkapselartiger Bildungen, die das drüsenreiche Rüsselepithel produziert, die Stelle des fehlenden Stilettapparates. Die Ausstülpung des Rüssels wird durch die meist aus 3 Schichten bestehende Muskulatur der Rüsselscheide (Fig. 7 rsch) besorgt, die durch ihre Kontraktion die im Rhynchocölom enthaltene Flüssigkeit nach vorn treibt und damit den Rüssel zum Hervortreten zwingt. In der Rhynchocölomflüssigkeit sind zahlreiche, amöboid bewegliche zellige Gebilde (**Rhynchocölomkörperchen**) suspendiert. Bei den Metanemertinen öffnet sich der Vorderdarm bisweilen in das Rhynchodäum (s. S. 959).

2e) Parenchym. Nach innen vom Epithel bezw. von der Cuticula und vom Hautmuskelschlauch findet sich bei sämtlichen Plathelminthen das **Parenchym** (Mesen-

gitized by Googl

chym, Reticulum) als ein alle Räume des Körpers zwischen den verschiedenen Organen ausfüllendes Grundgewebe, dessen Bau äußerst mannigfaltig und schwer zu analysieren ist. Bei den Acölen (Fig. 9 par) besteht es in seiner einfachsten Form aus zusammenhängenden, nur spärliche Vacuolen führenden, syncytialen Plasmamassen mit zahlreichen eingestreuten Kernen und in wechselnder Menge darin eingelagerten, verästelten oder amöboid beweglichen freien Zellen (fz). Bei höherer Organisation macht sich eine Sonderung in ein dichteres Rand- und ein lockereres Zentral- und Verdauungsparenchym bemerkbar. Bei den cölaten Turbellarien und den Trematoden und Cestoden zeigt das Parenchym eine mehr oder minder netzartige Beschaffenheit, indem ein zellen- und kernhaltiges Maschenwerk von Fasern und Lamellen miteinander kommunizierende, von sogenannter periviszeraler Flüssigkeit erfüllte, häufig auch „freie Bindegewebszellen" enthaltende Hohlräume abgrenzt, die von den verschiedenen Autoren verschieden — bald als inter-, bald als intrazellulär — aufgefaßt werden. Meist bleiben die Hohlräume klein, bei einzelnen Rhabdocöliden können sie indessen zu Lakunen von ansehnlicher Größe zusammenfließen. Bei den Nemertinen trägt das Parenchym (Fig. 7par), das in seiner Ausdehnung häufig durch die mächtige Entwickelung der Muskulatur und der Gonaden stark eingeschränkt wird, den Charakter eines gallertartigen Bindegewebes.

Im Parenchym der Turbellarien ist vielfach Pigment eingelagert, bald in der periviszeralen Flüssigkeit gelöst, bald körnig in den zelligen Gewebsbestandteilen eingeschlossen. Fast alle Cestoden, vielleicht auch einzelne ektoparasitische Trematoden (Calicotyle), führen im Parenchym, besonders in der Rindenschicht, kleine, stark lichtbrechende, konzentrisch geschichtete, kugelige oder scheibenförmige Gebilde, die wegen ihres Gehaltes an $CaCO_3$ als Kalkkörperchen (Fig. 2k) bezeichnet werden.

Seiner physiologischen Bedeutung nach ist das Parenchym der Plathelminthen nicht bloß ein Füll- oder Stützgewebe, sondern es spielt auch beim Stoffwechsel eine wichtige Rolle. Die von den Darmzellen assimilierten Nährstoffe werden in das Parenchym abgegeben und bei den wechselnden Kontraktionen des Körpers mit der periviszeralen Flüssigkeit allen Organen zugeführt. Andererseits sammeln sich in ihm die Endprodukte des Stoffwechsels, um von hier aus zur Ausscheidung zu gelangen. Bei den Acölen ersetzt das Parenchym den fehlenden Darmkanal, ebenso spielen sich bei den Cestoden alle Stoffwechselvorgänge in ihm ab (s. folgenden Abschnitt).

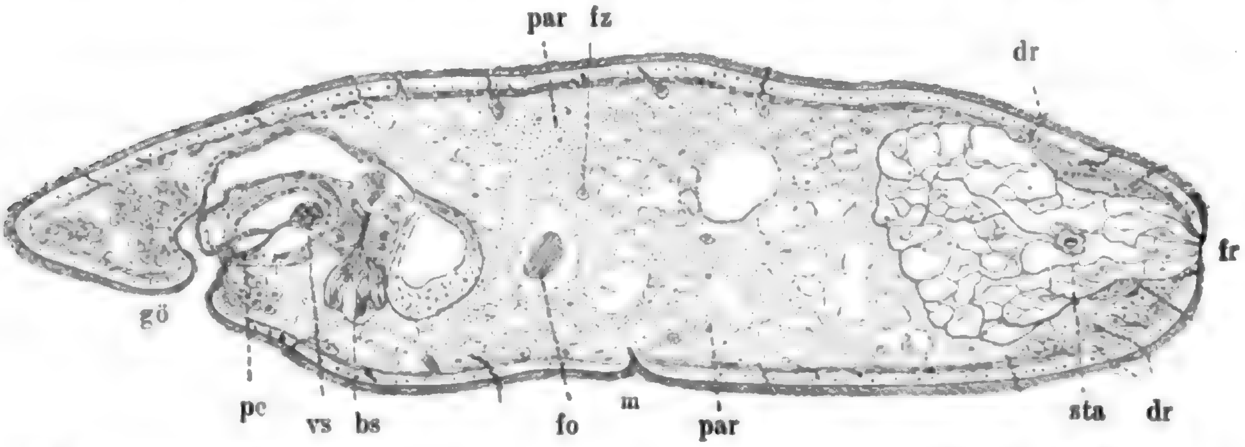


Fig. 9. Medianschnitt durch eine Acöle (Otocelis rubropunctata). bs Bursa seminalis; dr Schleimdrüsen; fo Freßobjekt; fr Frontalorgan; fz amöboide Parenchym(Freß-)zelle; gö Geschlechtsöffnung; m Mund; par Parenchym; pe Penis; sta Statocyste; vs Samenblase. Nach v. Graff. Aus Winterstein.

2f) Verdauungsapparat. Die Ausbildung der Verdauungsorgane zeigt bei den Plathelminthen große Verschiedenheiten. Im einfachsten Falle ist nur ein ektodermaler Mund, eventuell auch ein muskulöser Pharynx vorhanden, ein entodermaler Darm aber noch nicht differenziert (Acölen). Ein solcher findet sich erst bei den cölaten Turbellarien und bei den Trematoden, doch dient hier noch die Mundöffnung zur Entleerung der Fäces. Demgegenüber bringen die Nemertinen den Fortschritt, daß in dem ektodermalen After auch eine hintere Darmpforte ausgebildet ist. Andererseits sind bei den Cestoden infolge ihres kompletten Entoparasitismus Mund und Darm wieder vollständig verloren gegangen, sodaß die Nahrung durch die ganze Körperoberfläche hindurch auf osmotischem Wege aufgenommen wird. Wie ein solcher Rückschritt geschehen kann, erläutern unter den Rhabdocölen die in der Leibeshöhle mariner Crustaceen schmarotzenden Fecampiiden,

die, in der Jugend freilebend und mit Mund, Pharynx und Darm ausgestattet, nach dem Eindringen in ihre Wirte alle diese Organe allmählich wieder zurückbilden.

Nicht geringer als diese Mannigfaltigkeit in der Gesamtorganisation ist die Verschiedenheit in der Topographie und in der Entfaltung der einzelnen Teile des Verdauungsapparates. Nirgendwo sonst im Tierreich zeigt der Mund eine so wechselnde Lage wie bei den Plathelminthen, besonders bei den Rhabdocöliden und Polycladen, wo er an allen Punkten der ventralen Mittellinie, vom Vorder- bis zum Hinterende, zu finden sein kann. Nicht minder variabel ist der Bau des Pharynx und die Gestaltung des Darms, welch letzterer die einzelnen Gruppen der Turbellarien ihre Namen verdanken.

Bei den Acölen ist entweder nur eine kleine Mundöffnung (Fig. 9 m) vorhanden, die die Nahrungsobjekte direkt dem Parenchym zuführt, oder aber ein einfacher Schlund (Pharynx simplex, Fig. 10 A) ausgebildet, überall sonst aber durch Vorwulstung in Gestalt einer Ringfalte und durch Entwickelung einer starken, neben Längs- und Ringmuskelschichten vorwiegend radiär gestellte Fasern führenden Muskulatur als Pharynx compositus entfaltet, an dem neben dem eigentlichen Schlundkopf (Pharynx s. str.) die Schlund- oder Pharyngealtasche zu unterscheiden ist. Dabei kann die Ringfalte des Schlundkopfs mit dem Körperparenchym in offenem Zusammenhange stehen (Ph. plicatus der Polycladen, Tricladen und einzelner Rhabdocöliden, Fig. 10 C) oder durch ein besonderes Muskelseptum (Fig. 10 B, ms) scharf von ihm abgesetzt sein (Ph. bulbosus der meisten Rhabdocöliden).

Im ersteren Falle ragt der Pharynx weit in die geräumige Pharyngealtasche (pht) vor und bildet bald einen schlaffwandigen, weiten Kragen oder ein derbes, zylindrisches Muskelrohr, das als Schlundrüssel aus der Pharyngealtasche hervorgestreckt werden kann. Im Falle des Ph. bulbosus ist der Schlundkopf kugelig (Ph. rosulatus) oder tonnenförmig (Ph. doliiformis) und, wenn überhaupt, nur wenig aus der kleinen Pharyngealtasche vorstülpbar; bisweilen kann er aber auch die Gestalt eines mehr oder weniger langgestreckten Zylinders zeigen (Pharynx variabilis). Bei allen Pharynxformen wird der Schlundkopf von mehr oder weniger langgestreckten Drüsenzellen (Speicheldrüsen, Fig. 10 phd, phd_1) durchsetzt.

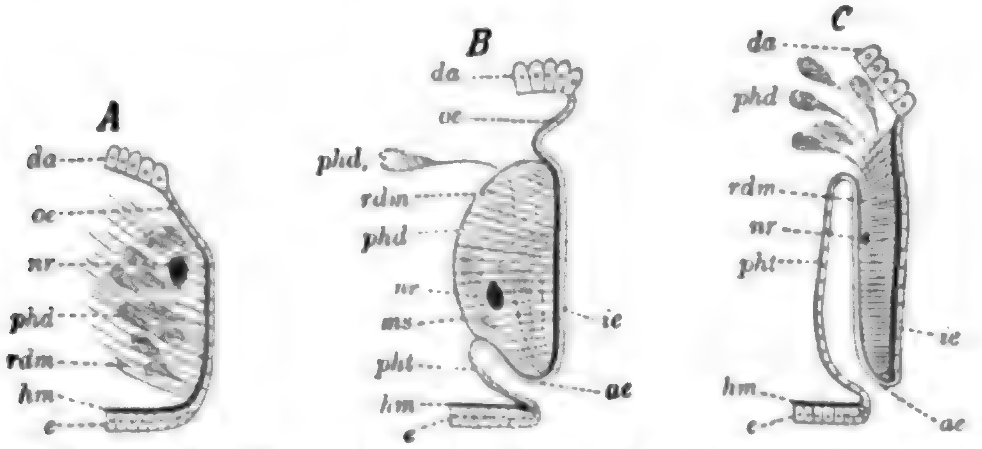


Fig. 10. Schematische Längsschnitte durch die Wand des Pharynx simplex (A), bulbosus (B) und plicatus (C). ae, ie, e Epithel der Pharyngealfalte, des Pharynxlumens und der äußeren Haut; da Darm; hm Hautmuskelschlauch; ms Muskelseptum; nr Nervenring; oe Oesophagus; phd, phd_1 Pharyngealdrüsen; pht Pharyngealtasche; rdm radiäre Muskelfasern. Nach v. Graff und Luther. Aus Brauer.

dazwischen geschaltet, der als eine röhrige Einsenkung des ventralen Integuments mit verstärkter Muskulatur erscheint. Im Parenchym sind entweder die Entodermelemente (Syncytium und amöboide Freßzellen, Fig. 9 fz) vorherrschend oder diffus von Bindegewebselementen durchdrungen. Eine dritte Form findet sich bei manchen Convolutiden, wo das „verdauende Parenchym" so deutlich von dem peripheren Stützgewebe geschieden sein kann, daß ihm zum „Darm" nichts als das Lumen und die Aufteilung seiner kernführenden Plasmamasse in einzelne epithelial angeordnete Zellen fehlt.

Unter den cölaten Turbellarien ist der Pharyngealapparat nur noch bei den primitivsten Rhabdocöliden (Catenulidae, Microstomidae) in der Form des Pharynx simplex

Der Darm ist bei den Rhabdocöliden vielfach durch Vermittelung eines kurzen, das Schlundepithel fortsetzenden Oesophagus (Fig. 10 A, B, oe) an den Pharynx angeschlossen und durchzieht den Körper stets als einheitliches, stabförmig gestrecktes, nur bei den Cyclocoela vom Pharynx durch-

Digitized by Google

brochenes Rohr. Seine Wandungen tragen nicht selten kleine Ausbuchtungen. — Bei den Tricladen (Fig. 23) besteht der Darm aus 3 mit verzweigten, bisweilen sehr regelmäßig angeordneten Seitenästen versehenen Hauptästen, von denen ein unpaarer (d_1) in der Mittellinie nach vorn verläuft, während die beiden anderen (d_2) den Pharynx und den dahinter gelegenen Copulationsapparat seitlich umgreifen und manchmal auch miteinander kommunizieren. Einzelne Tricladen des süßen Wassers (Planaria montenegrina, teratophila u. a.) sind durch Ausbildung mehrerer Schlundrüssel polypharyngeal geworden. — Bei den Polycladen schließt sich an den Pharynx ein einfacher Haupt- oder Magendarm, von dem nach allen Richtungen Seitenäste entspringen, die sich ihrerseits wieder vielfach verzweigen und meist blindgeschlossen endigen, bisweilen aber auch dorsal oder lateral nach außen durchbrechen (Yungia, Cycloporus). — Das Darmepithel wird überall von großen, mit Ausnahme des Magendarms der Polycladen stets unbewimperten Zellen gebildet, zwischen die sog. Minotsche Körnerkolben eingestreut sind, die bald als Drüsenzellen bald als mit Assimilationsprodukten erfüllte Darmzellen aufgefaßt werden. Die Verdauung geht so vor sich, daß die in das Darmlumen gelangten Nährstoffe von den Darmzellen aufgenommen und intrazellulär für die Resorption verarbeitet werden. Die Darmbewegungen werden in der Hauptsache von der Körpermuskulatur geleitet; doch ist bei den Polycladen, möglicherweise auch bei manchen Tricladen, eine eigene Darmmuscularis entwickelt.

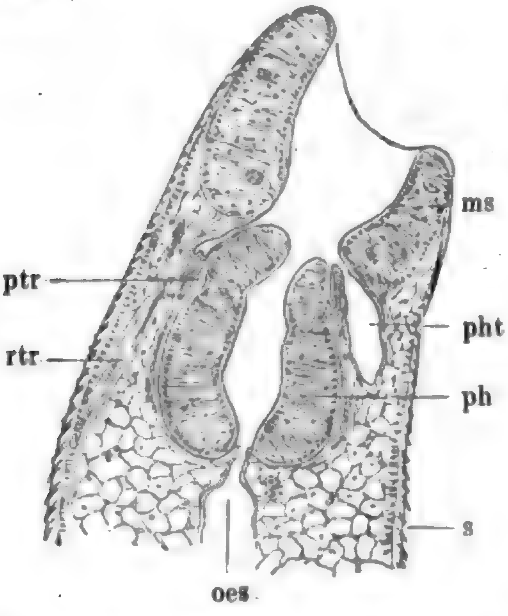


Fig. 11. Medianschnitt durch das Vorderende des Leberegels (Fasciola hepatica). ms Mundsaugnapf; oes Oesophagus; ph Pharynx; pht Pharyngealtasche; ptr Protractor, rtr Retractor pharyngis; s Schuppen der Cuticula. Nach Braun.

Die Trematoden besitzen in der Regel einen Pharynx bulbosus (Fig. 11ph), der neben seiner Eigenmuskulatur bisweilen noch mit besonderen Pro- und Retractoren ausgestattet und ebenso wie die Pharyngealtasche und der nach hinten anschließende, oft sehr kurze Oesophagus mit einer Fortsetzung der Körpercuticula ausgekleidet ist. Der Oesophagus wiederum führt in den meist gabelig geteilten Darm (Fig. 19gd), dessen beide Schenkel seitlich nach hinten ziehen und in der Regel auf gleicher, seltener auf verschiedener Höhe blind endigen.

Bei einigen Formen, so bei den Temnocephalen, Gasterostomen und Aspidobothriiden, aber auch bei Diplozoon und einzelnen Fascioliden (Haplocladus u. a.) ist der Darm unpaar, was bei den ersteren wohl auf ursprüngliche Verhältnisse hindeutet, bei den letzteren aber jedenfalls durch Rückbildung eines Darmschenkels zu erklären ist. Die Darmschenkel sind vielfach mit lateral oder median gerichteten Divertikeln versehen, durch deren Verschmelzung gelegentlich Anastomosen zwischen den beiderseitigen Darmschenkeln hergestellt werden können (Polystomum integerimum). Bei anderen Formen vereinigen sich die beiden Darmschenkel hinten bogenförmig miteinander (einzelne Tristomidae und Monostomidae) oder verschmelzen nach einer Strecke getrennten Verlaufes zu einem unpaaren, nach hinten ziehenden Stamme (Schistosomidae). Bisweilen münden die Darmschenkel in die Harnblase, so daß die Exkretionsöffnung gleichzeitig als After dient (manche Echinostomidae, Haplocladus). Die langgestreckten Nematobothrien endlich besitzen zwar eine Mundöffnung, lassen aber Pharynx und Darm vermissen. In histologischer und physiologischer Beziehung erscheint der Trematodendarm dem der Turbellarien ähnlich; bei den Digenea ist vielfach eine eigene Darmmuskulatur beschrieben worden.

Der Darm der Nemertinen durchzieht den Körper als ein gerades Rohr, dessen Mundöffnung stets in der Nähe des Vorderendes gelegen ist, und zwar bei den unbewaffneten Formen hinter dem Gehirn, bei den Metanemertinen davor (Fig. 12); viele der letzteren entbehren jedoch eines besonderen Mundeinganges, indem der Vorderdarm in das Rhynchodäum einmündet und durch dessen Vermittelung mit der Außenwelt kommuniziert. Der After öffnet sich stets am Hinterende (Fig. 17), terminal oder ein wenig dorsal verschoben. Der Vorderdarm ist von dem Mitteldarm durch seine geringere Länge, seine histologische Beschaffenheit, meist auch durch seine Gestalt (Fehlen von Divertikeln) verschieden. Er bildet bei den unbewaffneten Nemertinen einen in seiner ganzen Ausdehnung etwa gleich weiten Zylinder, während er sich bei den Metanemertinen in der Regel aus 3 Abschnitten, einem engen Oesophagus, einem blasig erweiterten Magen und einem hinteren, sehr engen Py-

lorusrohr zusammensetzt (Fig. 12). Ein muskulöser Schlundkopf, wie er den Turbellarien und Trematoden eigen ist, fehlt in Anbetracht der Ausbildung des Rüsselapparates

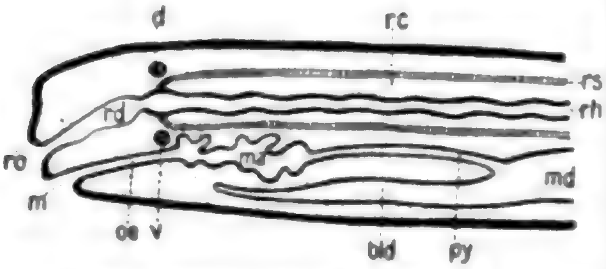


Fig. 12. Schematischer Medianschnitt durch eine Metanemertine (Amphiporus). bld Blinddarm; d dorsale, v ventrale Gehirnkommissur; m Mund; ma Magen; md Mitteldarm; oe Oesophagus; py Pylorusrohr; rc Rhynchocoelom; rd Rhynchodäum; rh Höhle des vorderen Rüsselzylinders; rö Rüsselöffnung; rs Rüsselscheide. Nach Benham.

allen Nemertinen. Der Mitteldarm trägt überall (ausgenommen Procarinina, Carinella, Malacobdella) seitliche Taschen (Fig. 7 div), die meist in regelmäßigen Zwischenräumen aufeinander folgen; bei den Metanemertinen entsendet er ausserdem einen langen Blinddarm nach vorn (Fig. 12 bld). Nur im hintersten Abschnitt des Mitteldarms, der vielfach als Enddarm bezeichnet wird, fehlen in der Regel die Seitentaschen (Fig. 17 e). Im Gegensatz zu den übrigen Plathelminthen ist das Darmrohr der Nemertinen in seiner ganzen Länge bewimpert. Das Vorderdarmepithel enthält massenhaft Drüsenzellen, deren Sekret die Verdauung einleitet. Die Resorption findet erst in dem drüsenärmeren Mitteldarm statt. Ob auch intracelluläre Verdauung vorkommt, ist fraglich. Eine Darmmuscularis ist vielfach entwickelt.

2g) Excretionsapparat. Im Gegensatz zu den übrigen Plathelminthen scheinen die Acölen besonderer Excretionsorgane zu ermangeln und die im Parenchym zur Ausscheidung gelangenden flüssigen Stoffe gleich den festen Fäkalmassen durch die Mundöffnung nach außen zu entleeren (Löhner, Zeitschr. Allg. Physiol. 12, 1911). — Ueberall sonst besteht der Excretionsapparat aus einem mehr oder minder komplizierten Kanalsystem (Wassergefäßsystem, Protonephridien), das gegen den inneren Leibesraum vollständig abgeschlossen ist, mit der Außenwelt dagegen durch besondere Poren der Körperoberfläche kommuniziert. Die Endzweige der Protonephridien sind mit charakteristischen, zur Aufnahme der Excretstoffe aus den Maschenräumen des Parenchyms dienenden Terminalorganen (Fig. 13, 15 tz) besetzt, deren jedes in der Regel von einer Zelle gebildet wird, die einen an seinem Grunde ein Cilienbüschel (Wimperflamme) tragenden Binnenraum enthält, der sich in eine den Anschluß an die Ausführungskanäle vermittelnde Kapillare fortsetzt.

Fig. 13. Terminalorgane der Protonephridien verschiedener Plathelminthen. a von Tetracelis marmorosa, b von Stichostemma graecense, c von Geonemertes chalicophora, d von Amphilina foliacea. k Kerne der Terminalorgane; wf Wimperflammen. Nach Meisenheimer.

Bisweilen beteiligen sich mehrere Zellen am Aufbau eines Terminalorgans (Nemertinen, Fig. 13 b, c), bisweilen enthält umgekehrt die einzelne Terminalzelle eine größere Anzahl Wimperflammen (Amphilina, Fig. 13 d).

Das die Ableitung der Excretstoffe besorgende Kanalsystem zeigt innerhalb der einzelnen Ordnungen große Verschiedenheiten, läßt sich aber allgemein auf ein Paar die Seitenteile des Körpers durchziehender, getrennt ausmündender Längskanäle zurückführen, die mit feinen Seitenkanälchen die Kapillaren der Terminalorgane sammeln.

Diesem Typus am nächsten kommen die Verhältnisse bei den Rhabdocöliden, wenn auch die Ausbildung der beiden Hauptkanäle und vor allem die Art ihrer Ausmündung sehr wechselt.

igitized by Google

Meist sind zwei getrennte, ventrale Excretionsporen in verschiedener Lage vorhanden; die beiden Excretionsstämme können sich aber auch zu einem unpaaren Endstamme vereinigen oder in eine kaudale, vom Körperepithel eingestülpte Excretionsblase einmünden (Fig. 45eb). Bei gewissen Arten sind die Hauptkanäle auf einen einzigen Stamm reduziert (Stenostoma), bei anderen ist umgekehrt ihre Zahl vermehrt (Prorhynchus, manche Allöocölen).

Letzteres scheint auch für die Mehrzahl der Tricladen die Regel zu sein, wo die Zahl der stark geschlängelten Excretionsstämme (Fig. 23ex) jederseits bis auf 4 steigen kann. Diese hängen untereinander durch Verbindungsröhren zusammen und münden dorsal oder auf beiden Körperflächen durch eine meist größere Zahl von Excretionsporen (exp) aus, die in mehr oder minder regelmäßigen Abständen angeordnet sind; junge Tiere besitzen anfangs weniger Poren als erwachsene (Wilhelmi). Die genauere Anordnung der Excretionskanäle bei den Polycladen ist noch wenig bekannt.

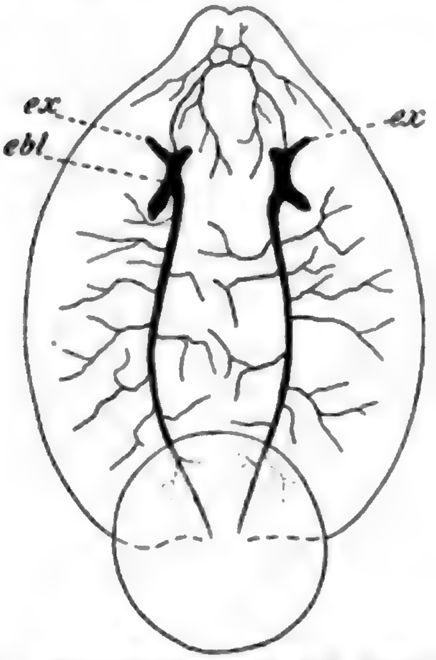
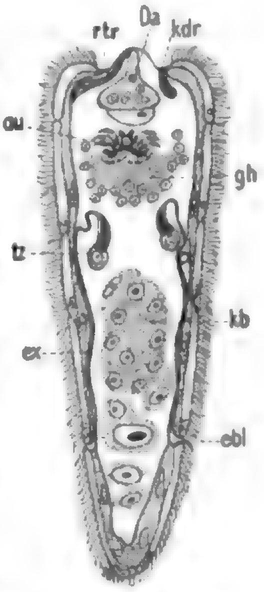


Fig. 14. Excretionsapparat von Epibdella squamula. ebl Endblase; ex Excretionsporus. Nach Meisenheimer.

Unter den Trematoden besitzen die Monogenea zwei den ganzen Körper von hinten nach vorn durchziehende und zahlreiche, verzweigte Nebenäste aufnehmende Hauptkanäle, die sich, von wenigen Ausnahmen (Gyrodactylidae) abgesehen, in ihrem Endabschnitt blasig erweitern (Fig. 14ebl), und dorsal öffnen. Für die Digenea ist eine am Hinterende gelegene, unpaare Excretionsöffnung charakteristisch, welche die meist in Zweizahl vorhandenen, nicht selten aber auch vermehrten und bisweilen kompliziert verzweigten Hauptgefäße direkt oder nach Vereinigung zu einem unpaaren Endstamme (Fig. 25v) aufnimmt, bezw. vermittelst einer sekundären Excretionsblase (Harnblase) nach außen münden läßt.

Bemerkenswert ist, daß selbst in Fällen, die vom Typus stark abweichen, — so z. B. bei Fasciola hepatica, wo im erwachsenen Zustande ein weit nach vorn reichender, unpaarer Excretionsstamm vorhanden ist, — die Wimperlarve in ganz ursprünglicher Weise zwei einfache, getrennt ausmündende Excretionskanäle besitzt (Fig. 15ex).

Fig. 15. Schematischer Frontalschnitt durch das Miracidium von Fasciola hepatica. au Auge; Da Darmanlage; ebl Endblase des Excretionskanals (ex); gh Gehirn; kb Keimballen; kdr Kopfdrüse, rtr Retractor des Vorderendes; tz Terminalzelle. Nach Ortmann (abgeändert).



Auch bei den Cestoden sind im einfachsten Falle zwei Excretionsstämme vorhanden, die im Hinterende des Körpers beginnend zunächst in dorsaler Lage nach vorn bis zum Scolex verlaufen (Fig. 16nst) und dann ventralwärts umbiegend wieder nach hinten (hst) zu einer am Körperende gelegenen Excretionsblase ziehen (Meisenheimer, Ergebn. Fortschr. Zool. 2, 1910).

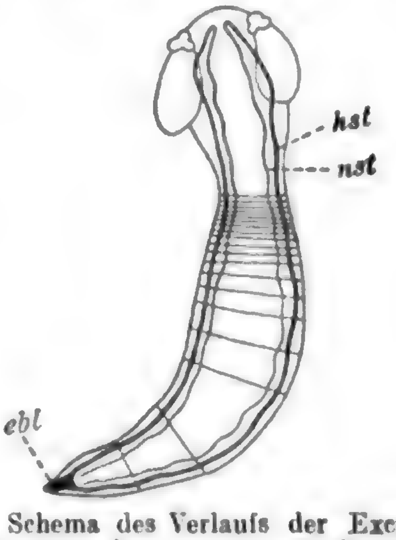


Fig. 16. Schema des Verlaufs der Excretionskanäle bei einem jungen Acanthobothrium coronatum. ebl Endblase; hst Hauptstamm; nst Nebenstamm. Nach Pintner und Meisenheimer.

Im einzelnen ist jedoch das Verhalten der Gefäßstämme sehr wechselnd und besonders durch die Ausbildung von Anastomosen kompliziert, unter denen eine die ventralen Hauptstämme am Hinterende jeder Proglottis verbindende Querkommissur die konstanteste ist (Fig. 28g). Auch im Scolex kommunizieren die Gefäße in der Gegend ihrer dorsoventralen Umbiegung häufig miteinander, wobei es zu mannigfacher Schlingen- und Inselbildung in der Umgebung der Saugnäpfe kommt. Erreicht die Aufspaltung und Anastomosierung der Gefäßstämme einen hohen Grad, so entsteht schließlich ein den ganzen Körper durchziehendes Netzwerk, aus dem sich die ursprünglichen Längskanäle nur streckenweise und in nicht konstanter Zahl herausheben (Dibothriocephaloidea). Ueberall, wo beim Uebergang in den geschlechtsreifen Bandwurm der hinterste Teil des Finnenkörpers wegfällt, oder wo dieser die Endproglottiden abzustoßen pflegt, ändert sich ferner die ursprüngliche Art der Ausmündung, häufig so, daß sich die Längsstämme isoliert nach außen öffnen. Bei vielen Arten gelangen außerdem an Scolex und Proglottiden randständige Ausmündungen der Excretionskanäle (Foramina secundaria zur Ausbildung.

Bei der Mehrzahl der Nemertinen besteht der Excretionsapparat gleichfalls aus zwei getrennten Längskanälen, die durch einen oder mehrere, meist seitlich gelegene Poren ausmünden. Sie durchziehen indessen nicht mehr den ganzen Körper, sondern sind auf einen im Vergleich zu dessen Gesamtlänge kurzen Abschnitt in der Vorderdarmgegend beschränkt (Fig. 17ex), da die Ausbildung eines den Terminalorganen die Excretstoffe zur Ausscheidung zuführenden Blutgefäßsystems (s. folg. Abschnitt) die diffuse Verteilung der Protonephridien über den ganzen Körper überflüssig macht.

Blutgefäße und Excretionsapparat stehen demgemäß überall in innigem Kontakt, ohne aber direkt miteinander zu kommunizieren. Bei den Paläonemertinen stülpen sich die Terminalorgane bisweilen sogar in dichtgedrängten Komplexen (sog. Nephridialdrüse) in die lateralen Blutgefäßstämme ein, um in deren Lichtung hineinragend von der dort zirkulierenden Blutflüssigkeit umspült zu werden. — Bei einzelnen Formen (Nemertopsis, Geonemertes, Stichostemma) dehnen sich die Protonephridien über die ganze Länge des Körpers aus; bei der letztgenannten Gattung bilden sie, solange die Tiere jung sind, ähnlich wie bei den Tricladen, ein System vielfach verschlungener und anastomosierender Kanäle, die durch eine größere Zahl metamerer Seitenporen nach außen münden; bei ausgewachsenen Tieren zerfallen sie dagegen durch Auflösung der Verbindungsstücke zwischen den zu einem Porus gehörigen Gefäßknäueln in 8 bis 10 gesonderte Nephridienpaare. Eine ähnliche Zerlegung des Exkretionsapparates ist auch bei der Paläonemertine Cephalothrix zu beobachten (Wijnhoff, Zool. Jahrb. 30, Anat. 1910).

Histologisch sind die Kanäle, mit Ausnahme der intracellulären Kapillaren, in allen Ordnungen von einem Epithel ausgekleidet, das bei den Turbellarien und Trematoden stellenweise Cilienbüschel trägt, bei den Nemertinen regelrecht bewimpert ist. Bei den Cestoden scheinen Wimpern im Innern der Gefäße zu fehlen. Dafür verhindern klappenartige Bildungen, die an den Abgangsstellen der Querkommissuren in das Gefäßlumen vorspringen, den Rückstau der Excretflüssigkeit. Eine Gefäßmuskularis ist nur an den Hauptstämmen der Trematoden kräftiger entwickelt.

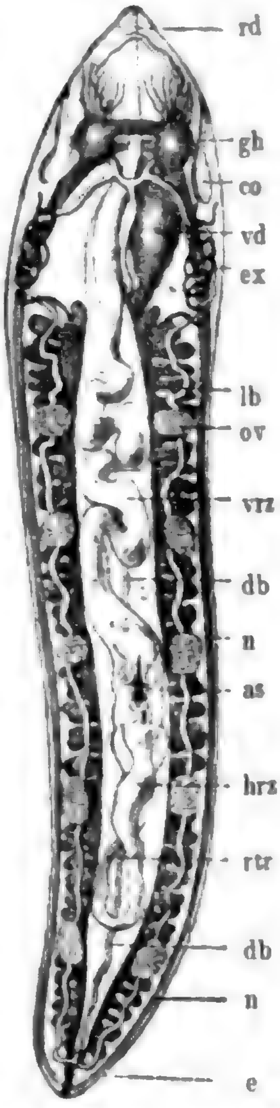


Fig. 17. Uebersichtsbild der Organisation einer Metanemertine (Amphiporus pulcher). as Angriffsstilett; co Cerebralorgan; db dorsales, lb laterales Blutgefäß; e Enddarm; ex Protonephridien; gh dorsales Gehirnganglion; hrz hinterer, vrz vorderer Rüsselzylinder; n Seitennerv; ov Ovar; rd Rhynchodäum; rtr Retractor des Rüssels; vd Vorderdarm. Nach Bürger. Aus R. Hertwig.

2h) **Blutgefäßsystem.** Ein Blutgefäßsystem besitzen unter den Plathelminthen allein die Nemertinen. In seiner ursprünglichen Form (Paläonemertinen excl. Hubrechtia) besteht es aus zwei größtenteils im Parenchym verlaufenden, lateralen Gefäßstämmen (Seitengefäße, Fig. 17lb), die vorn durch eine oft lakunäre Kopf-, hinten dorsal vom Darm, selten ventral (Cephalothrix), durch eine Analkommissur verbunden sind. Bei den übrigen Nemertinen kommt noch ein drittes Längsgefäß (Rückengefäß, db) hinzu, das aus einer ventralen Kommissur der Seitengefäße in der Gehirngegend entspringt

Digitized by Google

und zwischen Darm und Rhynchocölom bezw. dorsal vom Darm verläuft. Zugleich werden die drei Hauptgefäße fast immer durch zahlreiche Querkommissuren über dem Darm miteinander verbunden.

Bei den Metanemertinen ist das Blutgefäßsystem nicht weiter verzweigt und vollständig geschlossen (Fig. 17). Bei den anderen Nemertinen sind stets mehr oder weniger komplizierte Nebengefäßsysteme ausgebildet, die den Vorderdarm und das Rhynchocölom versorgen. Eine Reihe von Heteronemertinen zeichnet sich ferner durch große, sinusartige Erweiterungen der Seitengefäße aus, welche die Cerebralorgane umschließen. Die Gefäße besitzen epitheliale Wandungen und mit Ausnahme der Querkomissuren eine äußerst feine Ringmuskulatur. Das Blut enthält kernhaltige, meist farblose, bisweilen aber auch lebhaft rot (Hämoglobin) oder grün gefärbte Blutkörperchen, die nicht amöboid beweglich und kleiner als die Rhynchocölomkörperchen sind. Seine Zirkulation wird der Hauptsache nach durch die Körperbewegungen herbeigeführt. An den Blutgefäßen von Stichostemma und Geonemertes sind besondere Klappenzellen beschrieben worden, die das Innehalten der Zirkulationsrichtung befördern sollen, möglicherweise aber Bildungen drüsiger Natur darstellen. — Die physiologische Bedeutung des Blutgefäßsystems ist noch in mancher Hinsicht unklar. Aus der Umspinnung der Cerebralorgane und dem Hämoglobingehalt des Blutes einzelner Arten hat man auf eine respiratorische Funktion schließen wollen. Bei der Mehrzahl der Nemertinen fehlen jedoch diese Beziehungen, und die tief in den Körper versenkte, dem Darm genäherte Lage der Blutgefäße deutet vielleicht eher auf Funktionen nach Art eines Lymphgefäßsystems hin. Sicher erscheint nur der schon erwähnte Zusammenhang mit dem Excretionsapparat.

2i) Nervensystem. Das Nervensystem liegt bei allen Turbellarien, Trematoden und Cestoden unter der Hautmuskulatur im Parenchym eingebettet. Nur bei einem Teil der Nemertinen hat sich eine epitheliale Lagerung erhalten. Ueberall ist zwischen einem cerebralen Teil (Gehirn) und den davon abgehenden Nervenstämmen zu unterscheiden; im allgemeinen ist außerdem ein Hautnervenplexus vorhanden. Das Gehirn findet sich stets in der vorderen Körperhälfte, meist vor dem Munde oder, wo dieser endständig ist, darüber. Seiner Gestalt nach erscheint es bald als einheitliche Masse, bald als Komplex mehr oder minder deutlich gesonderter Ganglien, die untereinander durch Kommissuren zusammenhängen. Gegen das Parenchym ist es meist nicht scharf abgegrenzt, nur bei den Nemertinen erreicht seine bindegewebige Umhüllung eine gewisse Mächtigkeit. Histologisch besteht das Gehirn bezw. die einzelne Ganglienanschwellung im allgemeinen aus einer zentralen, aus Glia und Nervenfasern zusammengesetzten Fibrillenmasse (Leydigsche Punktsubstanz) und aus einer mehrschichtigen Rinde verschieden gebauter und verschieden großer Ganglienzellen (Fig. 34 gh). Letztere setzen sich meist auch auf die vom Gehirn entspringenden Nervenstämme fort, was die Abgrenzung der zentralen und peripheren Teile häufig erschwert.

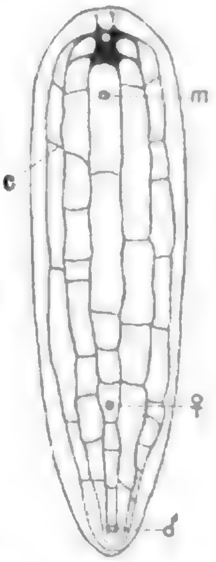


Fig. 18.
Gehirn und Nerven der Dorsalseite einer Acöle (Convoluta roscoffensis). c Commissuren zwischen den Längsnervenstämmen (3 dorsale Paare); m Mundöffnung, davor das aus zwei Ganglienpaaren bestehende Gehirn; ♀ weibliche, ♂ männliche Geschlechtsöffnung. Nach Delage und v. Graff.

Bei den Turbellarien erscheint das Gehirn relativ einheitlich (Fig. 45), doch läßt sich oft noch bei erwachsenen Tieren erkennen, daß es embryonal aus paariger Anlage hervorgeht. Bisweilen wird durch Querfurchen usw. sogar der Eindruck einer weiteren Sonderung in mehrere Ganglienpaare hervorgerufen. Bei einzelnen Landtricladen bildet es eine über der Kriechsohle quer durch den ganzen Vorderkörper ausgespannte Platte. Vom Gehirn entspringen bei den Acölen 3 bis 5 (6) Paare ungefähr gleichstarker, radiär um die Körperhauptachse orientierter, nach hinten ziehender Längsnerven, die untereinander in wechselnden Abständen durch Queranastomosen in Verbindung stehen (Fig. 18). Bei den cölaten Formen dominiert dagegen in Anpassung an die kriechende Lebensweise ein ventrales Längsnervenpaar; die anderen Nervenstämme fehlen entweder (die meisten Rhabdocölen) oder sind bis auf ein (Polycladen, einzelne Rhabdocölen) oder zwei Paare relativ schwach entwickelter dorsaler bezw. lateraler Längsnerven reduziert (viele Tricladen). Kommissuren zwischen den ventralen Nervenstämmen sind bald nur spärlich (nur eine postpharyngeale Kommissur bei manchen Rhabdocölen), bald zahlreich ausgebildet und bisweilen in höchst regelmäßiger Weise angeordnet (Strickleiterform bei Procerodes lobata und anderen Tricladen, Fig. 23). Sehr wechselnd ist auch die Zahl und Verteilung der vom Gehirn zum Vorderende des Körpers und zu den Sinnesorganen entsandten Nerven. Stets wird der Pharynx von einem besonderen Nervenring oder -plexus versorgt (Fig. 10 nr).

Gehirn und Nervensystem der Trematoden zeigen durchaus turbellarienähnliche Verhältnisse (Fig. 19). Die durch Kommissuren untereinander verbundenen Längsnerven sind gewöhnlich in

3 Paaren (ein ventrales, in der Regel am stärksten entwickelt, ein dorsales, ein laterales) vorhanden, wozu noch besondere Pharyngealnerven hinzutreten.

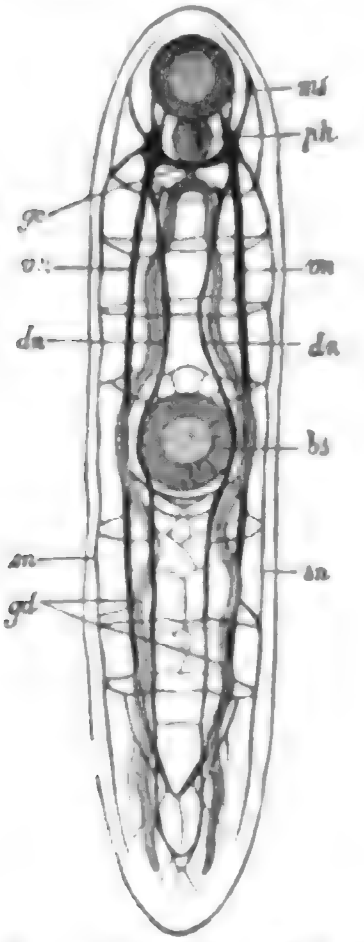


Fig. 19. Distomum isostomum. bs Bauchsaugnapf; ms Mundsaugnapf; gd Gabeläste des Darms; ph Pharynx; gc Gehirnkommissur; dn dorsale, sn laterale, vn ventrale Längsnerven. Nach Gaffron. Aus Lang.

Bei den Cestoden ist an Stelle des Gehirns ein kompliziertes Kommissurensystem im Scolex entwickelt, das die einzelnen Längsnervenstämme, deren Zahl und Anordnung in den verschiedenen Gruppen beträchtlich differieren, miteinander verbindet. Bei den Tänien (Fig. 20) sind typisch 10 Längsnerven vorhanden: 2 starke Hauptstämme, die durch alle Proglottiden nahe deren Seitenrande hindurchlaufen, 4 dünnere Begleitnerven, die jederseits dorsal und ventral den Hauptstämmen folgen und 4 gleichfalls schwache Submediannerven. Am Hinterrande jedes Gliedes findet sich gewöhnlich eine Querkommissur (Fig. 28).

Das Gehirn der Nemertinen (Fig. 17 gh) setzt sich aus zwei symmetrischen Hälften zusammen, die ihrerseits wieder je aus einem dorsalen und einem ventralen Ganglion bestehen und untereinander durch dorsal und ventral das Rhynchodäum bezw. Rhynchocölom umgreifende Kommissuren verbunden werden. Von den ventralen Ganglien entspringen zwei mächtige, nach hinten ziehende, in der Nähe des Afters durch eine Analkommissur vereinigte Seitennervenstämme, die von Ganglienzellen begleitet, bald in oder unter dem Epithel (meiste Paläonemertinen), bald im Hautmuskelschlauch (Hetero- und einzelne Paläonemertinen, Fig. 71 n), bald innerhalb des Parenchyms (Metanemertinen) verlaufen. Das Gehirn entsendet besondere Nerven zum Kopf und zu den Augen, zu Schlund und Rüssel. Außerdem zweigt von der dorsalen Gehirnkommissur ein unpaarer, oberer Rückennerv ab, der mit Ausnahme der Metanemertinen und einer Anzahl Paläonemertinen meist noch einem zweiten, unteren Rückennerven (Rüsselscheidennerv) den Ursprung gibt. Bei den Paläo- und Heteronemertinen stehen Rücken- und Seitennerven durch einen zwischen den sie einschließenden Körperschichten verlaufenden, kontinuierlichen Nervenplexus in Verbindung. Bei den Metanemertinen ist dieser Plexus, wohl im Zusammenhang mit der Versenkung des Nervensystems in das Parenchym, in eine größere Zahl von Ringkommissuren aufgelöst.

2k) Sinnesorgane. Von einzelnen Sinneszellen abgesehen, die in Verbindung mit dem Hautnervenplexus allen Plathelminthen zukommen, finden sich zusammengesetzte Sinnesorgane nur bei den freilebenden

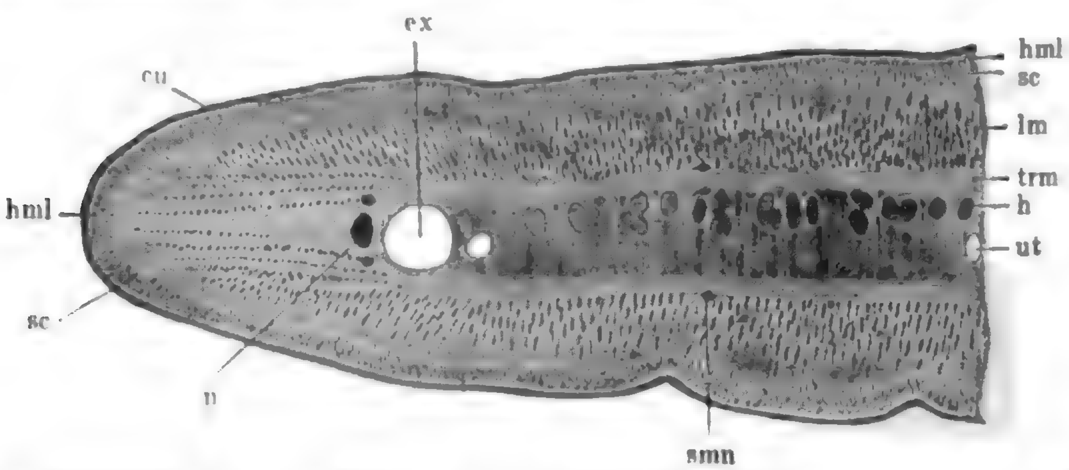


Fig. 20. Querschnitt durch die Hälfte einer Proglottis von Taenia crassicollis. cu Cuticula; ex Hauptstamm des Excretionsapparates, rechts davon der Nebenstamm; h Hodenfollikel; hml Längsfasern des Hautmuskelschlauchs; lm longitudinale, trm transversale Fasern der Parenchymmuskulatur; n Nervenhauptstamm mit seinen Begleitnerven; sc Subcuticularzellen; smn Submediannerv; ut Uterus. Nach Braun.

Digitized by Google

Turbellarien und Nemertinen, sowie bei einer Anzahl ektoparasitischer Trematoden. Die endoparasitischen Digenea besitzen besondere Sinnesorgane nur vereinzelt während ihres Larvenlebens; die Cestoden, die freie Stadien nicht (oder nur ganz rasch) durchlaufen, entbehren ihrer vollständig.

Als Tastorgane dienen vielfach Tentakel, die besonders bei den Polycladen weit verbreitet sind, sich aber auch bei vielen Tricladen (als Tastlappen oder „Oehrchen", Fig. 23 t), einzelnen Rhabdocölen (Vorticeros auriculatum) und Trematoden (Temnocephalen, Fig. 46 t) finden. Auch der Rüssel der Rhabdocölen (Fig. 46) bildet jedenfalls ein Tastorgan. Bei einzelnen Nemertinen werden lateral gelegenen, rundlichen Epithelplatten, die vorgewölbt und wieder eingezogen werden können (Seitenorgane), Tastfunktionen zugeschrieben. Möglicherweise dienen auch die Frontalorgane der Acölen (Fig. 9 fr) und Nemertinen solchen Leistungen. — Wahrscheinlich Chemorezeptionsorgane stellen grubenartig eingesenkte Epithelabschnitte verschiedenster Gestalt und Ausdehnung dar, die bei den Rhabdocöliden als Wimpergrübchen (Fig. 36wg), -rinnen oder -ringfurchen, bei den Süßwasser- und Meerestricladen als Auriculargruben, bei den Landtricladen als Sinneskantengrübchen und bei den Nemertinen als Kopfspalten und Kopffurchen beschrieben werden; vielleicht gehören hierher auch die für die meisten Nemertinen charakteristischen Cerebralorgane (Fig. 17 co), ein Paar mit Wimperepithel ausgekleideter, mehr oder weniger tief in den Körper eindringender, bisweilen sich sogar in eigene Lappen des Gehirns fortsetzender Kanäle von sehr verschiedenartigem Bau. — Als Augen dienen den Plathelminthen allgemein subepithelial gelegene, oft dem Gehirn genäherte oder direkt anliegende, invertierte Pigmentbecherocellen (Fig. 15au), aus einer oder mehreren Sehzellen bestehend, deren kolbig angeschwollene, die Lichtrezeption vermittelnde Enden so in einem zelligen Pigmentbecher stecken, daß die Sehnervenfasern dem einfallenden Licht näher liegen als die rezipierenden Endigungen. Mit solchen Augen sind — von einzelnen Ausnahmen abgesehen, wo ein Pigmentbecher fehlt (Stenostomum), oder wo eine Reversion der Sehzellen eingetreten ist (manche Landtricladen, cf. Hesse, Zeitschr. wiss. Zool. **72**, 1902) — nahezu alle Turbellarien ausgestattet, am reichsten die Polycladen, wo bis viele Hunderte von Augen in Haufen über dem Gehirn und an der Basis der Tentakel liegen, oft auch den Körperrand vorn oder ganz umsäumen. Die Tricladen besitzen meist zwei nahe dem Vorderende gelegene Augen, bisweilen aber auch Augengruppen über dem Gehirn (Sorocelis, Polycladodes) oder zahlreiche Randaugen (Polycelis, Geoplaniden, Bipaliiden), die Acölen und Rhabdocöliden in der Regel 1, seltener 2 Augenpaare in nächster Nähe des Gehirns. Aehnlich gelagerte Augen tragen unter den Trematoden die Temnocephalen (1 Paar, Fig. 46oc), viele Tristomiden und manche Polystomiden (2 Paare), ferner die Miracidien und Cercarien einzelner Digenea (1 Paar bisweilen, zu einem X-Auge vereinigt, Fig. 15). Unter den Nemertinen sind nur die bewaffneten Formen der Mehrzahl nach mit Augen ausgestattet, die in wechselnder Zahl meist vor, selten über oder sogar hinter dem Gehirn gelegen sind, die Paläonemertinen (mit Ausnahme von Cephalotrix und Hubrechtia) und viele Heteronemertinen dagegen blind. — Als Organe des Gleichgewichtssinnes dienende Statocysten kommen nur verhältnismäßig wenigen Plathelminthen zu, in der Einzahl den Acölen (Fig. 9sta), einigen Rhabdocölen (Catenula) und Allöocölen (Monocelididae, Otoplanidae), in einem, seltener zwei Paaren der Metanemertinengattung Ototyphlonemertes. Immer handelt es sich um kleine, dem Gehirn an- oder eingelagerte, kugelige Bläschen mit einfacher, wimperloser Wand, in deren Flüssigkeit ein $CaCO_3$-haltiger, bisweilen Nebensteinchen tragender Statolith suspendiert ist.

2 l) Geschlechtsorgane. Weit bedeutender noch als bei allen bisher besprochenen Organsystemen ist die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die der Genitalapparat darbietet. Nur bei den Nemertinen, die sonst im allgemeinen höher organisiert erscheinen als die übrigen Plathelminthen, zeigt der Geschlechtsapparat einfache Verhältnisse, indem er lediglich aus den keimbereitenden Organen und deren Ausführgängen, ohne weitere Anhangsorgane, besteht.

Die überwiegende Mehrzahl der Nemertinen ist getrenntgeschlechtlich und ihre stets in großer Zahl vorhandenen Geschlechtsdrüsen stellen kleine, bei dem Männchen Spermien, bei dem Weibchen Keimzellen enthaltende Säckchen (Fig. 7, 17ov) dar, die in das seitliche Parenchym eingebettet den Mitteldarm in seiner ganzen Länge bis zur Aftergegend begleiten und häufig (besonders bei den Heteronemertinen) sehr regelmäßig mit dessen Seitentaschen alternieren. Jedes Genitalsäckchen, Hode wie Ovarium, entwickelt zur Zeit der Geschlechtsreife einen kurzen, seitlich, dorsal oder ventral sich öffnenden Ausführungsgang.

Die Ovarien entstehen entweder (Paläonemertinen) relativ spät aus Gruppen von Parenchymzellen, die sich in eine zentrale Keimzellenmasse und in das periphere Epithel des Genitalsäckchens sondern, oder aber (die meisten Hetero- und Metanemertinen) als präformierte Taschen, deren epitheliale Wand sekundär die Keimzellen erzeugt. Für die Hoden scheint in allen Gruppen der erstere Bildungsmodus die Regel zu sein. Einige wenige Arten der Metanemertinen sind Zwitter (bisweilen auch vivipar); hier entstehen die beiderlei Geschlechtsprodukte in denselben Gonaden (Ovotestes), bald gleichzeitig, bald die Spermien vor den Eiern.

Im Gegensatz zu den Nemertinen sind alle übrigen Plathelminthen — von wenigen Ausnahmen (Sabussowia unter den Meerestricladen, Schistosomidae und einzelne Didymozoonidae unter den Trematoden, Dioicocestus unter den Cestoden) abgesehen — durchweg Zwitter.[1] Im Zusammenhang damit

[1]) Männliche und weibliche Keimzellen ent-

sind überall, um Selbstbefruchtung nach Möglichkeit zu verhindern, Begattungsorgane ausgebildet, die ihrerseits wieder den Verlauf der Genitalausführungsgänge bestimmen. Weitere Komplikationen entstehen vielfach durch Sonderung der weiblichen Gonaden in Keim- und Dotterstöcke, sowie durch Ausbildung verschiedenartiger Anhangdrüsen des Geschlechtsapparates und besonderer Aufbewahrungsstätten für die befruchteten Eier (Uterus). Aus der Fülle dieser Einrichtungen resultiert dann wiederum eine geradezu erstaunliche Mannigfaltigkeit in der Art ihrer gegenseitigen Kombination.

Relativ einfache Verhältnisse zeigen noch die Acölen. Ihre Gonaden differenzieren sich erst bei eintretender Geschlechtsreife aus dem Parenchym, die Hoden in Gestalt zahlreicher einzelner Follikel, die Ovarien entweder gleichfalls follikulär oder als ein Paar kompakter Zellstränge (Fig. 22A) ventral und medial von den Hoden. Meist wird dabei eine die Genitaldrüsen gegen das Parenchym abgrenzende, eigene Hülle nicht gebildet. Ebenso fehlen in der Regel mit besonderen Wandungen versehene Samen- und Eileiter. Die Geschlechtsprodukte gelangen vielmehr durch Parenchymlücken nach hinten, um entweder durch eine für Eier und Sperma gemeinsame (Proporidae, Fig 9 gö) oder durch eine vordere weibliche und eine hintere männliche Genitalöffnung (Convolutidae excl. Otocelis, Fig. 18) nach außen zu gelangen. An die gemeinsame, bezw. männliche Geschlechtsöffnung ist stets ein weicher, röhriger Penis angeschlossen (nur bei der Gattung Childia ist der Penis verdoppelt und mit einem Chitinstachel ausgestattet, v. Graff, Zeitschr. wiss. Zool. **99**, 1911). Als weibliches Hilfsorgan ist bei allen Convolutiden eine muskulöse, mit einem oder mehreren chitinösen Mundstücken versehene Bursa seminalis (Fig. 9 bs) ausgebildet, die das Sperma bei der Begattung aufzunehmen und zur Besamung auf die Eier zu übertragen hat.

Die Genitaldrüsen der übrigen Turbellarien (mit Ausnahme weniger Rhabdocöliden) besitzen stets eine Tunica propria und epithelial ausgekleidete Leitungswege, die die Sexualprodukte den Geschlechtsöffnungen zuführen. Meist ist ferner ein hochentwickelter, männlicher Begattungsapparat vorhanden, bestehend aus einem mehr oder minder kompliziert gebauten, häufig mit einer scharfen Chitinbewaffnung versehenen und aus einer ein- oder mehrfachen Scheide vorstreck- oder ausstülpbaren Penis, dem in der Regel eine stark muskulöse Samenblase (Vesicula seminalis) zur kräftigeren Ausstoßung des Spermas durch den Peniskanal (Ductus ejaculatorius) vorgeschaltet ist. Oftmals, besonders bei den Polycladen und Rhabdocöliden, stehen ferner mit dem Penis sog. Körnerdrüsen in Verbindung, deren feingranuliertes Sekret dem Samen beigemischt wird, und für dessen Aufbewahrung bisweilen ein besonderes Reservoir (Vesicula granulorum, Fig. 45 vg) ausgebildet ist.

Bei den Polycladen sind fast immer zahlreiche follikuläre Hoden und Ovarien vorhanden (Fig. 21). Die Hoden ergießen ihren

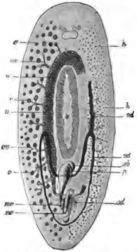


Fig. 21. Leptoplana alcinoi, Uebersichtsbild des Geschlechtsapparates, links die weiblichen, rechts die männlichen Organe eingetragen, zwischen den Uteringängen (u) der Pharynx, davor Gehirn und Augen. h Hoden; mo männliche, no weibliche Geschlechtsöffnung; o Ovarien; ov Ovidurte; p Penis; sb Vesicula seminalis; sd Schalendrüsen; vd Vas deferens. Nach Lang.

Inhalt mittelst zahlreicher, kapillarer Gänge (Vasa efferentia) in ein Paar großer Sammelkanäle (Vasa deferentia), die ihn wiederum den meist in Einzahl, bisweilen aber paarig (manche Pseudoceriden) oder gar zu mehreren (2 bis 6 bei Cryptocelides, 20 bis 30 bei Anonymus und Polyposthia) vorhandenen männlichen Begattungsorganen zuführen. Zur Ausleitung der weiblichen Geschlechtsprodukte dient ein Netzwerk feiner Ovidukte und daran anschließend ein Paar zur Zeit der Geschlechtsreife sich strotzend

stehen jedoch stets in getrennten Gonaden. Die Angabe, daß die Fecampiden eine Zwitterdrüse besitzen, trifft nach Hallez (op. cit. S. 975) nicht zu.

Digitized by Google

mit Eiern füllender Uteringänge, die sich ihrerseits kaudal zu einem unpaaren Eiergang vereinen. Letzterer mündet durch ein bald einfaches, bald zu einem mehr oder minder geräumigen Antrum femininum erweitertes und die Ausführungsgänge zahlloser Drüsenzellen (Schalendrüsen) aufnehmendes Rohr (Vagina) hinter der männlichen Geschlechtsöffnung nach außen.

Bei den Acotyleen ist das Antrum femininum häufig zu einer stark muskulösen Bursa copulatrix ausgebildet, die bei einer Gattung (Laidlawia) durch einen besonderen Gang dorsal nach außen mündet. Bei den Planoceriden und Leptoplaniden (Fig. 21) trägt der Eiergang vielfach eine von der Vereinigungsstelle der beiden Uteringänge nach hinten ziehende, vielleicht zur Aufbewahrung des Spermas nach der Begattung (Receptaculum seminis) dienende accessorische Blase (bei Woodworthia paarig), die meist blindgeschlossen ist, bisweilen (Trigonoporus, Polyporus, Bergendalia, Tripylocelis) aber durch einen besonderen, hinter der eigentlichen weiblichen Geschlechtsöffnung ausmündenden Kanal mit der Außenwelt kommuniziert. Manche Arten benützen übrigens bei der Begattung nicht die weibliche Geschlechtsöffnung, sondern implantieren entweder Spermatophoren in die Haut des kopulierenden Partners (Cryptocelis) oder entleeren, mit ihren chitinbewaffneten Penes die Haut durchstoßend, das Sperma direkt in sein Parenchym („hypodermic impregnation").

Der den Acölen (Fig. 22 A) und Polycladen eigene, gewöhnliche Typus der weib-

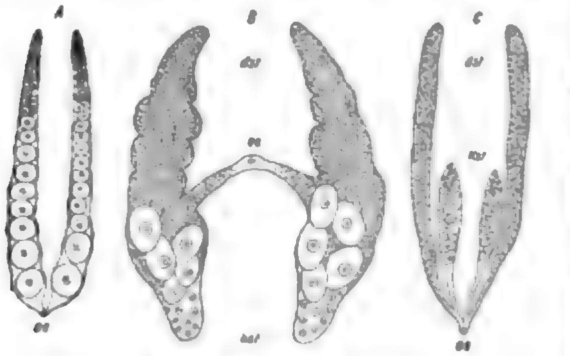


Fig. 22. Weibliche Geschlechtsdrüsen von Aphanostoma (A), Pseudostomum (B) und Provortex (C). A Ovarien, B Keimdotterstöcke, C Keim- und Dotterstöcke. dtst Dotterstock; kst Keimstock; oe Geschlechtsöffnung. Nach v. Graff und Korschelt-Heider.

lichen Geschlechtsdrüsen — Ovarien, die einfache, allen zur Entwickelung nötigen Nahrungsdotter in sich enthaltende Eier (endolecithale E.) liefern — erleidet nun bei den Rhabdocöliden eine Umwandlung (Fig. 22 B, C). Es sondern sich nämlich hier die weiblichen Gonaden allmählich in zwei Abschnitte, von denen nur noch der eine (Keimstock, Germarium) entwicklungsfähige, aber dotterlose Ei- oder Keimzellen hervorbringt, der andere (Dotterstock, Vitellarium) dagegen deutoplasmahaltige sog. Dotterzellen, die jeweils in größerer Zahl mit einer oder mehreren Keimzellen zu einem „zusammengesetzten Ei" vereinigt werden (ektolecithale Eier).

Den Vorgang dieser Sonderung illustriert bei den Rhabdocöliden eine kontinuierliche Stufenreihe, deren nachstehend gekennzeichnete Etappen noch durch zahlreiche Uebergänge untereinander verbunden werden:

I. Ovarien einheitlich.

a) Die Keimzellen beladen sich mit Dotter ohne besondere Nährzellen in Anspruch zu nehmen (Stenostomum).

b) Die Keimzellen inkorporieren benachbarte, abortive Eizellen zwecks Verarbeitung zu Nahrungsdotter (übrige Hysterophora, Halleziidae).

II. Gonaden räumlich noch einheitlich, liefern aber in gesonderten Abschnitten Keimzellen und Dotterzellen (= abortive Keimzellen): Keimdotterstöcke, Germovitellarien (Paravortex, Pseudostomum u. a., Fig. 22 B).

III. Germarien und Vitellarien getrennt (Mehrzahl der Rhabdocöliden, Fig. 22 C).

Bei den Tricladen, Trematoden und Cestoden ist die Trennung zwischen Keim- und Dotterstöcken überall vollständig durchgeführt.

Die weiblichen Geschlechtsdrüsen der Rhabdocöliden sind aber nicht nur in der eben genannten Weise verschieden differenziert, sondern zeigen auch nach Bau, Lage und Zahl sehr wechselndes Verhalten. Besonders vielgestaltig sind die Dotterstöcke. Die Keimstöcke sind meist kompakt und oft, besonders bei den Süßwasserformen, auf ein unpaares Germarium reduziert. Die Hoden bilden entweder zahlreiche Follikel oder gleichfalls kompakte Organe (meist 1 Paar, Fig. 45 te). Der Penis ist oft mit charakteristischen Chitingebilden bewehrt. Die Cuticula des ihn durchsetzenden Ductus ejaculatorius wird bisweilen (einzelne Typhloplanini) bei der Begattung mit ausgestülpt, als Hülle einer die Spermien einschließenden Spermatophore. Männliche und weibliche Organe münden bald gesondert nach außen, wobei die weibliche Geschlechtsöffnung vor oder hinter der männlichen gelegen sein kann, oder miteinander vereinigt in ein Atrium genitale commune. Dem Endabschnitt des weiblichen Apparates ist häufig eine Bursa copulatrix und ein Receptaculum seminis oder eine, die Funktionen beider gemeinsam erfüllende, gelegentlich chitinbewaffnete Bursa seminalis angeschlossen, außerdem münden in ihn zahlreiche Drüsenzellen, die als Schalendrüsen bezeichnet werden. Vielfach dienen besondere Aussackungen des Genitalatriums als Uterus (Fig. 45 ut), um die Eier (Ec) einige Zeit, bei einzelnen Formen sogar für die ganze Dauer ihrer Entwickelung aufzubewahren. Bisweilen (Genostoma u. a.) ist die gemeinsame oder bei Formen mit getrennten Genitalporen nur die männliche Geschlechtsöffnung (Prorhynchus) mit der Mundöffnung ver-

einigt. Bei einzelnen Arten geht von der Bursa seminalis außer dem gewöhnlichen Verbindungskanal mit dem Genitalatrium noch ein zweiter Gang ab, der entweder (Syndesmis, Anoplodium) gleichfalls in dieses oder aber dorsal nach außen (Gyratrix, Pseudostomum u. a.) mündet und bei der Begattung als Vagina dient.

Bei den Tricladen (Fig. 23) verhalten sich die follikulären Hoden und ihre Ausführungsgänge ähnlich wie bei den Polycladen.

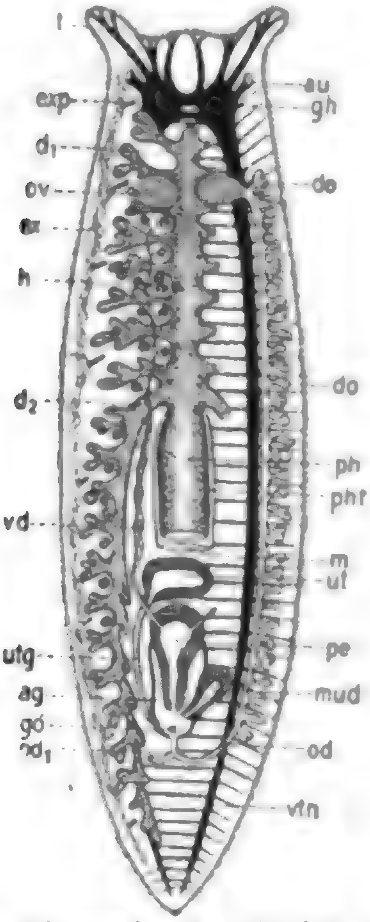


Fig. 23. Schema der Organisation einer Süßwassertriclade. ag Genitalatrium; au Auge; d_1 vorderer, d_2 hinterer Darmschenkel; do Dotterstöcke; ex Protonephridien; exp Exkretionsporus; gh Gehirn; go Genitalöffnung; h Hoden; m Mund; mud muskulöses Drüsenorgan; od, od_1 Oviduct; ov Keimstock; pe Penis; ph Pharynx; pht Pharyngealtasche; t Tastlappen; ut sog. Uterus; utg dessen Ausführgang; vd Vas deferens; vtn ventrale Längsnerven.

Die Keimstöcke (hier gewöhnlich nicht als Germarien, sondern als Ovarien bezeichnet) sind stets nur in einem Paare vorhanden und dicht hinter dem Hirn zwischen den vordersten Darmdivertikeln gelegen. Von ihnen aus ziehen die Ovidukte längs den ventralen Nervenstämmen nach hinten und nehmen die Mündungen zahlreicher im Seitenparenchym zerstreuter Dotterstockfollikel auf, dienen also zugleich als Dottergänge. Vasa deferentia und Oviducte oder der aus der Vereinigung der letzteren entstandene, unpaare Eiergang (Fig. 23 od_1) führen stets in ein gemeinsames Geschlechtsatrium, das in seiner vorderen Abteilung den meist stark muskulösen, in der Regel unbewaffneten Penis enthält. Mit dem hinteren, weiblichen, gewöhnlich sehr einfach gebauten Abschnitt des Genitalatriums steht meist ein mehr oder minder langgestielter Blindsack in Verbindung, der unter dem Namen Uterus geht, wahrscheinlich aber eine Bursa copulatrix darstellt (vielfach auch als Receptaculum seminis gedeutet).

Bei Uteriporus, ebenso bei den Bdellouriden (hier paarig ausgebildet) besitzt dieses Organ eine eigene Ausmündung. Als Hilfsorgane bei der Begattung gelten bei einzelnen Land- und Süßwassertricladen in verschiedener Zahl vorhandene, eigentümliche Bildungen von penisähnlicher Gestalt (muskulöse Drüsenorgane, Adenodactylen), die meist dem Genitalatrium angeschlossen sind (Dendrocölum, Artioposthia, einzelne Bipaliumarten), aber auch für sich, kaudal von diesem, ausmünden können (Polycelis cornuta). In neuester Zeit ist auch bei einer Acöle (Monochoerus illardatus, Löhner und Micoletzky, Zeitschr. wiss. Zool. **98**, 1911) das Vorkommen von Adenodactylen beschrieben worden.

Bei einzelnen Landplanarien (Rhynchodemus, Pelmatoplana), Polycladen (Enterogonia) und Rhabdocölen (Phaenocora) wird das Receptaculum seminis durch einen besonderen Kanal (Ductus genito-intestinalis), der in ähnlicher Weise auch bei den Trematoden vorkommt, mit dem Darm verbunden. (Haswell, Transact. Linn. Soc. (2), **9**, 1907; Bendl, Zool. Anz. **34**, 1909).

Unter den Trematoden besitzen die Monogenea (Fig. 24) meist viele, die Digenea (Fig. 25) meist 2 Hoden, die rundlich, gelappt oder verästelt sein können. Der meist vor ihnen gelegene, immer nur in Einzahl vorhandene Keimstock zeigt seltener Abweichungen von der Kugelgestalt,

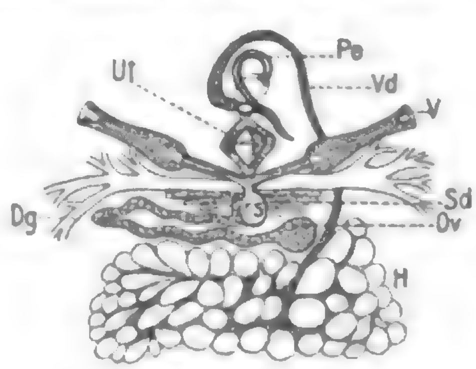


Fig. 24. Geschlechtsapparat eines monogenetischen Trematoden (Calicotyle kroyeri). Dg Dottergänge; H Hoden; Ov Ovar; Pe Penis; Ut Uterus mit Ei; V Vagina; Vd Vas deferens. Nach Hatschek und Goette (kombiniert).

die gewöhnlich paarigen Dotterstöcke sind dagegen meist traubig verästelt (fehlend bei Gyrodactylus). Die aus den Hoden ent-

ed by Google

springenden Vasa efferentia vereinigen sich stets zu einem unpaaren, muskulösen Vas deferens, das sich gewöhnlich in der Nähe der ventral vorn, seltener hinten oder an einem Seitenrande gelegenen Genitalöffnung zu einer Samenblase (Vesicula seminalis) erweitert und unter Aufnahme zahlreicher Drüsenzellen (sog. Prostata) entweder zu einem als Cirrus bezeichneten, umstülpbaren, in einem muskulösen „Cirrusbeutel" eingeschlossenen Begattungsorgan (einige Mono-, meist Digenea, Fig. 25 p) ausbildet oder mit einem besonders vorstreckbaren Penis (Fig. 24 Pe) oder einer größeren Zahl chitiniger Genitalhaken verbindet (meiste Monogenea, Aspidogaster, Holostomidae). Doch kann auch bisweilen (Diplozoon, Opisthorchis, Paragonimus, Schistosomum u. a.) die Differenzierung dieser Begattungswerkzeuge unterbleiben. Der weibliche Genitalkanal beginnt überall mit einem aus dem Keimstock entspringenden Ovidukt, der nach kurzem Verlauf das sogenannte Ootyp bildet, einen meist erweiterten, die Mündung der Dotterstöcke und zahlreicher Schalendrüsen aufnehmenden, häufig auch mit einem Receptaculum seminis verbundenen Raum, wo die Besamung der Keimzellen, ihre Vereinigung mit den Dotterzellen und die Eischalenbildung stattfindet. Vom Ootyp aus gelangen die beschalten Eier in den bei den Monogenea (Fig. 24) kurzen, bei den Digenea (Fig. 25) gewöhnlich langen und vielfach gewundenen Uterus (ut), der dicht neben der männlichen Geschlechtsöffnung, bisweilen mit ihr in ein gemeinsames Genitalatrium versenkt, nach außen mündet. Bei den Monogenea sind stets noch eine oder zwei weitere weibliche Oeffnungen in wechselnder Lage (seitlich, ventral oder dorsal) vorhanden, als Ausmündungen eines unpaaren oder paariger Kanäle, die zur Begattung dienen und entweder in das dem Ovidukt bezw. Ootyp angeschlossene Receptaculum seminis (Vaginae, Fig. 24 V) oder in den Dottergang führen (Ductus vaginales, Odhner, Zool. Anz. 39, 1912). Häufig ist außerdem der Oviduct oder der Dottergang mit dem Darm durch einen Ductus genito-intestinalis (D. vitello-intest.) verbunden, der möglicherweise dazu dient, im Uebermaß ausgeschiedene Sperma- oder Dottermassen dem Verdauungskanal zuzuleiten und damit wieder dem Körper nutzbar zu machen. Auch bei den Digenea ist vielfach ein vom Eileiter bezw. dessen Receptaculum seminis entspringender Kanal vorhanden, der dorsal ausmündet und als Laurerscher Kanal (Fig. 25 l) bezeichnet wird. Er dient indessen niemals mehr als Vagina — diese Funktion hat hier vielmehr der häufig mit verstärkter Muskulatur ausgestattete Endabschnitt („Metraterm") des Uterus übernommen — sondern stellt jedenfalls eine rudimentäre Bildung dar, worauf auch hindeutet, daß eine ganze Anzahl Digenea (Hemiuridae u. a.) seiner gänzlich ermangelt. Vielleicht werden überschüssige Sperma- oder Dottermassen durch ihn nach außen geschafft.

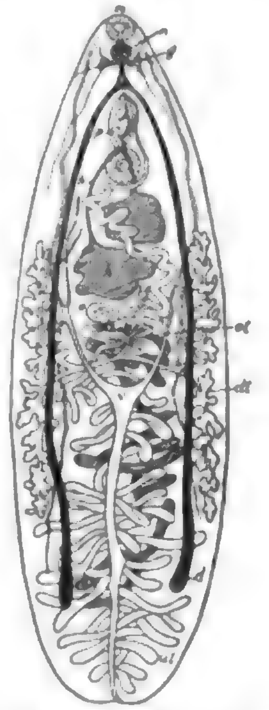


Fig. 25. Dicrocoelium lanceatum. c Bauchsaugnapf; d Darmschenkel; dt Dotterstock; g Gehirn; h Hoden und Vas deferens; l Laurer'scher Kanal; m Mund; n Pharynx; o Keimstock; ot Ootyp mit Schalendrüsen; p Cirrus im Cirrusbeutel; s Receptaculum seminis; ut Uterus; v Mündung der paarigen Exkretionskanäle in den unpaaren Endstamm. Nach Goette.

Von besonderem Interesse sind die bei manchen Trematoden ausgebildeten Einrichtungen zur Sicherung der Wechselbegattung. So verwachsen bei Diplozoon paradoxum jeweils zwei in der Jugend getrennt lebende Individuen derart zu einem Doppeltier, daß sich die beiderseitigen Copulationswerkzeuge in dauernder Begattungsstellung befinden. Bei anderen Formen (Paragonimus, Didymozoonidae, einzelne Echinostomidae) ist paarweise Encystierung der Individuen die Regel. Bei den durch Trennung der Geschlechter und hochgradigen Sexualdimorphismus ausgezeichneten Schistosomiden (Fig. 26) stellt das breite Männchen durch ventrale Einkrümmung der Seitenteile seines Körpers einen Canalis gynaecophorus her, in dem das fadenförmige, viel längere Weibchen dauernd festgehalten wird. Viel-

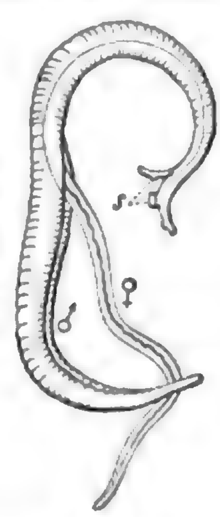
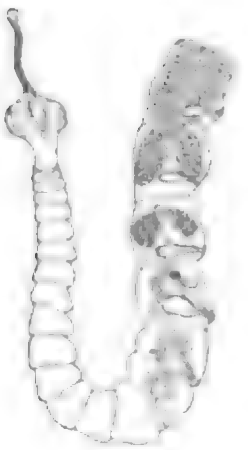


Fig. 26. Schistosomum haematobium. Weibchen (♀) im Canalis gynaecophorus des Männchens (♂). s die Bauchsaugnäpfe beider Tiere. Nach Hatschek.

fach kommt aber jedenfalls auch Selbstbefruchtung vor.

Die Cestoden besitzen mit Ausnahme der Cestodarien und Caryophyllaiden stets eine größere Zahl von Genitalorganen, die meist, aber nicht immer (Ligula), der Gliederung des Körpers entsprechend angeordnet sind, derart, daß in jeder Proglottis ein vollständiger Geschlechtsapparat (bisweilen sogar zwei nebeneinander, Fig. 28) zur Ausbildung gelangt. Die Entwickelung der Genitalien erfolgt erst, wenn die Glieder ein gewisses Alter erreicht haben, so daß im allgemeinen die auf den Scolex folgenden jüngsten Proglottiden noch nichts von deren Anlagen erkennen lassen (Fig. 27). In der Regel treten



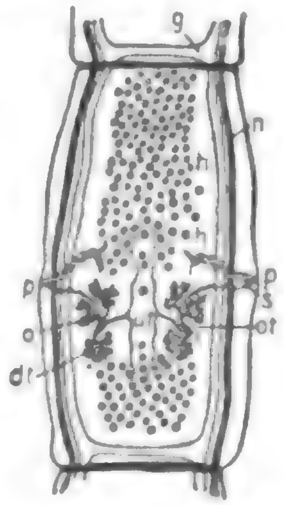


Fig. 27. Hymenolepis abortiva. Links oben der Scolex mit dem langen, in eine Scheide zurückziehbaren Rostellum. Geschlechtsorgane nur in den 6 hintersten Proglottiden entwickelt, zuerst die männlichen, zuletzt die weiblichen. Aus Lühe (in Brauers Süßwasserfauna Deutschlands).

Fig. 28. Dipylidium caninum, Proglottis. dt Dotterstock; g Kommissur der Exkretionskanäle; h Hoden; h_1 Vas deferens; n Nerv; o Keimstock; ot Ootyp; p Mündung von Vas deferens und Vagina (s); ut Uterus. Nach Goette.

dabei die männlichen Organe etwas früher auf als die weiblichen, doch kommt auch der umgekehrte Fall vor (Progynotaenia). Die meist zahlreichen (selten nur 1 bis 3, Fig. 48), follikulären Hoden ergießen ihr Sperma durch zahlreiche Vasa efferentia in ein Vas deferens, das meist mit einer Vesicula seminalis versehen und terminal als Cirrus ausgebildet ist; letzterer wird bisweilen durch einen besonderen Rückziehmuskel in dem muskulösen Cirrusbeutel (Fig. 48cb) befestigt. Der Prostata der Trematoden homologe Drüsen fehlen. Unter den weiblichen Organen ist der Keimstock bald unpaar, bald zweiflügelig und häufig in zahlreiche Schläuche zerteilt, der Dotterstock entweder aus zahlreichen, in den Seitenfeldern der Proglottiden zerstreuten Follikeln zusammengesetzt (Fig. 29), oder zu einem einheitlichen, auch Eiweißdrüse genannten Organ zusammengezogen (Cyclophyllidea (Fig. 28), bisweilen auch ganz zurückgebildet (Avitellina). Der Keimgang, der oft an seiner Austrittsstelle aus dem Keimstock zu einem muskulösen „Schluckapparat" (Ovocapt) für die reifen Keimzellen erweitert ist, nimmt in der Regel sehr bald den oder die Dottergänge und die Mündungen der Schalendrüsen auf (Ootyp), um sich dann mit den beschalten Eiern gefüllt als Uterus fortzusetzen und entweder nach charakteristisch gewundenem Verlauf durch einen fast stets ventral gelegenen Porus auszumünden (Cestodaria, Pseudophyllidea, Coenomorphus, Fig. 29,1), oder in Gestalt eines kürzeren oder längeren, mit Seitenästen versehenen Schlauches blind zu endigen (alle übrigen Cestoden, Fig. 29,2).

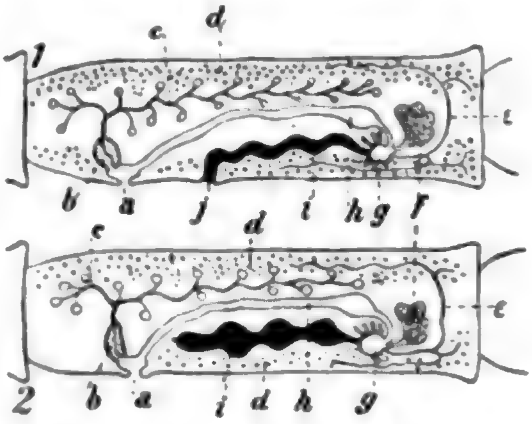


Fig. 29. Schemata des Geschlechtsapparats 1. einer Pseudophyllidee, 2. einer Diphyllidee (in Sagittalschnitte durch eine Proglottis projiziert). a Genitalatrium; b Cirrus; c Vas deferens und Hoden; d Dotterstöcke; e Vitelloduct; f Keimstock; g Ootyp mit Schalendrüsen; h Vagina mit Receptaculum seminis; i Uterus, in 1 bei j nach außen mündend, in 2 blindgeschlossen. Nach Benham.

Außer dem Uterus entspringt aus dem Oviduct meist ein zweiter, mit einer blasigen Anschwellung (Receptaculum seminis) beginnender Kanal, der als Vagina dient und, gewöhnlich parallel zum Vas deferens verlaufend (Fig. 48), dicht neben der männlichen Geschlechtsöffnung am Grunde eines gemeinsamen Genitalatriums ausmündet, bald flächenständig (ventral — Fig. 29 — oder dorsal), bald randständig (rechts oder links — Fig. 27 — oder abwechselnd auf beiden Seiten).

Bisweilen vereinigt sich jedoch die Oeffnung der Vagina mit der des Uterus zu einem gemein-

Digitized by Google

samen Atrium, das entweder auch die männliche Oeffnung aufnehmen (Caryophyllaeus) oder von ihr getrennt sein kann (Cyathocephalus). In einzelnen Fällen (Acoleinae, Amabiliinae) kann ferner die Vagina mehr oder minder weit rückgebildet werden.

Bei manchen Formen (Avitellina, Mesocestoides, Idiogenes) ist das blinde Ende des Uterus zu einem allmählich die meisten oder alle Eier aufnehmenden Paruterinorgan ausbildet. Bei anderen (Linstowia, Davainea etc.) kommen die Eier durch Zerfall des Uterus in zahlreiche, abgeschlossene, durch den Körper zerstreute Hohlräume des Parenchyms (Parenchymkapseln) zu liegen.

Bei Formen mit doppeltem Genitalapparat in jeder Proglottis sind mindestens 4 Ausmündungen der Geschlechtsgänge (zwei männliche, zwei vaginale, Fig. 28) vorhanden, bei einigen Dibothriocephalen, wo auch die Uterusöffnung verdoppelt ist (Diplogonoporus), steigt ihre Zahl sogar auf 6.

Vergleicht man die Organisation des Genitalapparates der Turbellarien, Trematoden und Cestoden, so sind die einzelnen Teile bei den verschiedenen Ordnungen im allgemeinen leicht aufeinander zurückzuführen. Schwierigkeiten macht nur die Deutung der weiblichen Leitungswege bei den mono- und digenetischen Trematoden und bei den Cestoden, hinsichtlich deren sich die in der folgenden Zusammenstellung gekennzeichneten 3 Anschauungen gegenüberstehen:

	Monogenea	Digenea	Cestodes	
	Vagina	= Laur. Can.	= Vagina	Stieda[1])
	Uterus	= Uterus	= Uterus	
C. genito-int.		—	—	
	Vagina	—	—	Looß[2])
	Uterus	= Uterus	= Vagina	
C. genito-int.		= Laur. Can.	= Uterus	
	Vagina	—	= Uterus	Goto[3])
	Uterus	= Uterus	= Vagina	
C. genito-int.		= Laur. Can.	—	

In neuerer Zeit hat sich nun 1. gezeigt, daß unter den Cestodarien bei der brasilianischen Amphilina liguloidea die Vagina ganz den Charakter eines Laurerschen Kanals trägt, während ihre europäische Verwandte A. foliacea eine typische Cestodenvagina besitzt (v. Janicki, Zeitschr. wiss. Zool. **89**, 1908,) und 2., daß bei den monogenetischen Trematoden zwei bisher nicht auseinandergehaltene, aber morphologisch ganz verschiedene Arten von Begattungskanälen ausgebildet sind, von denen nur die eine den Namen Vagina verdient und wahrscheinlich dem Laurerschen Kanal homolog ist, während die andere (Ductus vaginalis), die gewöhnlich zugleich mit dem Canalis genito-intestinalis vorkommt, eine Bildung sui generis darstellt (Odhner, op. cit. S. 969). Danach würde also die alte Stieda'sche Ansicht mit der geringen Modifikation zu recht bestehen, daß nur die echte Vagina der Monogenea dem Laurerschen Kanal der Digenea und der Vagina der Cestoden entspricht. Gleichzeitig ist ein Kompromiß mit den beiden anderen Anschauungen in dem Sinne möglich, daß bei den einer Vagina entbehrenden Monogenea der Canalis genito-intestinalis den Laurerschen Kanal vertritt. Alle diese Bildungen werden übrigens bereits bei den Turbellarien vorbereitet, sowohl die Kommunikation des weiblichen Geschlechtskanals mit dem Darm durch einen Ductus genito-intestinalis, wie seine Verbindung mit der Außenwelt durch einen vom Receptaculum seminis bezw. der Bursa seminalis abzweigenden bisweilen als Scheide dienenden, besonderen Gang (s. o. S. 967 u. 968).

2m) Geschlechtsprodukte. Die Spermien der Plathelminthen sind äußerst verschiedenartig gestaltet, besonders bei den Turbellarien. Vielfach sind sie fadenförmig und mit mehreren Nebengeißeln versehen, ohne daß ein besonders abgesetzter Kopf zu erkennen ist. Diesem vergleichbar ist vielmehr der Hauptabschnitt des Fadens, der den sich bei der Entwickelung der Spermatide in die Länge streckenden Kern enthält. Die Länge der Spermien erreicht meist nicht 0,1 mm.

Dem Verhalten der weiblichen Geschlechtsdrüsen entsprechend produzieren nur die Nemertinen, sowie die Acölen, Polycladen und die mit Ovarien ausgestatteten Rhabdocöla hysterophora einfache, alle übrigen Plathelminthen dagegen zusammengesetzte Eier.

Bei den Nemertinen und Polycladen werden die Eier meist in Massen abgelegt und durch ein gallertartiges Sekret zu oft ansehnlichen Ballen, Schnüren oder Platten vereinigt. Bei den Acölen werden häufig Eikapseln mit zarter, durchsichtiger Schleimhülle gebildet, die bis zu 40 Eier enthalten können. Die hysterophoren Rhabdocölen legen ihre Eier einzeln für sich ab. Die Größe der Eier schwankt je nach der Menge des in ihnen aufgespeicherten Nahrungsdotters; am kleinsten, nicht selten unter 0,1 mm Durchmesser herabsteigend, sind sie bei den zuletzt genannten Formen und bei den Acölen. — Bei den zusammengesetzten Eiern findet niemals Ablage in Laichform statt. Sie werden vielmehr entweder einzeln nach außen geschafft oder aber sie verbleiben im Mutterkörper bis zu dessen Zerfall nach dem Tode. Die Tricladen bilden stets Eikapseln (Cocons), die mehrere (bis zu 40) Eizellen und viele Tausende von Dotterzellen enthalten. Bei den Rhabdocöliden wird selten, bei den Trematoden (Fig. 30) und

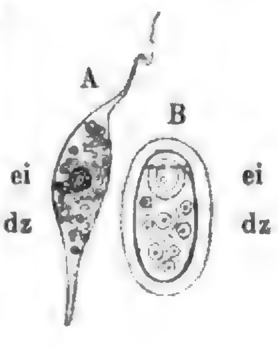


Fig. 30. Gedeckelte Eier von Microcotyle mormyri (A) und Azygia lucii (B), mit je einer Eizelle (ei) und einer Anzahl Dotterzellen (dz). Eischale in A mit einem Filament, in B von einer Gallerthülle umgeben. Nach Lorenz und Schauinsland. Aus Korschelt-Heider.

[1]) Arch. Anat. Phys. Jhg. 1871, p. 31.
[2]) Zentralbl. Bakt. Paras. **13**, 1893, p. 808.
[3]) Zentralbl. Bakt. Paras. **14**, 1893, p. 797.

Digitized by Google

Cestoden niemals mehr als eine Eizelle den Dotterzellen beigegeben. Die Zahl der letzteren ist infolgedessen wesentlich geringer und beträgt im Maximum nur noch einige Hunderte, kann aber bei den Trematoden und Cestoden bis auf 2 (Zoogonus) oder 1 (Taenien) sinken. Dementsprechend erreichen die Eikapseln der Tricladen beträchtliche Größe (1 bis 10 und mehr mm Durchmesser), während der Eidurchmesser bei den meisten Rhabdocöliden beträchtlich unter 0,5 mm bleibt. Unter den Trematoden erzeugen die Temnocephalen auffallend große, längsovale Eier (bis 5 mm Längsdurchmesser), alle übrigen Formen dagegen recht kleine Eier, wobei die der Monogenea mit bis zu 0,3 mm Längsdurchmesser noch wesentlich die der Digenea übertreffen. Selbst bei der großen Fasciola hepatica beträgt der Längsdurchmesser der Eier nur 0,145 mm (bei 0,09 mm Breite), bei anderen Formen geht er bis auf 0,02 mm herab. Sehr klein sind auch die ovalen bis kugeligen Eier der Cestoden, deren Längsdurchmesser etwa zwischen 0,09 und 0,02 mm schwankt. — Die einfachen Eier sind durchweg nur von einer zarten Eihülle umgeben, die entweder von den Schalendrüsen oder von der Eizelle selbst abgeschieden wird. Bei den zusammengesetzten Eiern wird die Substanz der oft harten, je nach ihrer Dicke farblosen oder gelblichen bis braunschwarzen Schale hauptsächlich von den Dotterzellen geliefert; daneben sind aber auch die früher als alleinige Produzenten der Schale in Anspruch genommenen Schalendrüsen - - zum mindesten bei den Tricladen (vgl. Burr, Zool. Jahrb. 35 Syst. 1912) — an ihrer Bildung beteiligt. Häufig sind die Eischalen mit kurzen Stielen oder längeren, fadenförmigen Anhängen (Filamenten) an einem oder beiden Enden versehen; vielfach ist ferner ein uhrglasförmiger, beim Ausschlüpfen der Embryonen abspringender Deckel präformiert (Fig. 30). Die Zahl der Eier ist bei den Tricladen und Rhabdocölen relativ gering, beträchtlicher bei den Trematoden, wo sie bisweilen in die Hunderttausende gehen kann (Dicrocoelium lanceatum). Bei den Bandwürmern steigt ihre Zahl in die Millionen (s. auch S. 992).

Einige Rhabdocölenarten (aus den Gattungen Mesostoma, Bothromesostoma, Typhloplana etc.) vermögen vor den typischen, hartschaligen Eiern (Dauer-, Latenz- oder Wintereier) dünnschalige Subitan- oder Sommereier zu produzieren, die mit einer geringeren Zahl deutoplasmaärmerer Dotterzellen ausgestattet und daher kleiner sind. Sie dienen dazu, den betreffenden Arten während der günstigen Jahreszeit eine möglichst rasche und möglichst große Ausbreitung zu geben, da die Reduktion der Dottermasse eine schnellere Entwickelung, und die dünne Schale ein leichteres Ausschlüpfen der Jungen ermöglicht; bisweilen wird auch durch Zulassung der Selbstbefruchtung für diese Eier ein Zeitgewinn erzielt. Stets verläuft die Entwickelung der Subitaneier, die im Vergleich zu der der Dauereier beträchtlich abgeändert sein kann, intrauterin.

3. Entwickelung. 3a) Formen mit einfachen Eiern. I. Turbellarien. Ueber die Entwickelung der Rhabdocoela hysterophora ist noch nichts bekannt. — Bei den Acölen und Polycladen verläuft die totale, inaequale Furchung im Spiraltypus und zwar im wesentlichen nach dem gleichen Rhythmus, mit dem Unterschiede jedoch, daß bei den ersteren (Convoluta roscoffensis, vgl. Bresslau, Verhdl. Deutsch. Zool. Ges. 1909) das Ei nur in 2, bei den letzteren dagegen in 4 primäre Blastomeren zerfällt. Diese Blastomeren liefern nacheinander 3 Duette bezw. Quartette von Micro- oder Ectomeren, aus denen die Wimperhaut des künftigen Wurmes hervorgeht. Aus Abkömmlingen des ersten Duetts und Quartetts entwickelt sich weiterhin in beiden Gruppen das Zentralnervensystem, aus solchen des zweiten das periphere Parenchym (Convoluta) bezw. ein Teil des Mesoderms (Planocera inquilina, vgl. Surface, Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia 1908). Inwieweit Derivate des dritten Duetts oder Quartetts an der Erzeugung mesodermaler Elemente teilnehmen, ist noch nicht sichergestellt. Nach Abspaltung der dritten Micromerenserie schnüren die übrig gebliebenen Macromeren durch einen vierten Teilungsschritt ein Entomerenduett bezw. -quartett ab und liefern mit diesem zusammen bei den Acölen das zentrale, verdauende Parenchym, bei den Polycladen das Entoderm und den Rest des Mesoderms. Während der Gastrulation wird weder

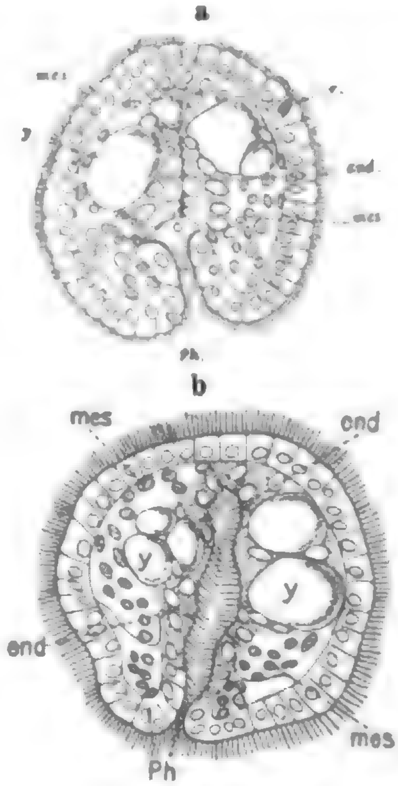


Fig. 31. Planocera inquilina. a Optischer Schnitt durch einen Embryo kurz vor, b Querschnitt durch einen Embryo kurz nach Bildung des Darmlumens. end Entoderm; mes Mesoderm; ph Pharynx; r Stäbchen; y Dotterschollen. Nach Surface.

gitized by Googl

bei Convoluta noch bei Planocera ein Urdarm gebildet, und da bei ersterer auch späterhin alle Entomeren dauernd flächenhaft aneinandergrenzen, kommt es hier **niemals** zur Entstehung eines Verdauungskanals. Bei Planocera dagegen erfolgt, nachdem eine sekundäre Ectodermeinstülpung im Bereich des ursprünglichen Blastoporus den Pharynx angelegt hat (Fig. 31a), die Bildung des Darmes, indem ein Teil der mit Dotterschollen beladenen Entomeren unter Einschmelzen des Dottermaterials degeneriert und dadurch zwischen den Entodermzellen ein spaltförmiges Lumen entstehen läßt (Fig. 31b), das sich allmählich erweitert, bewimpert und schließlich durch vorwuchernde Mesodermsepten verzweigte Gestalt erhält. Bei Convoluta wie bei Planocera streckt sich dann der Embryo in die Länge und plattet sich dorsoventral etwas ab, um als junger Wurm aus der Eihülle auszuschlüpfen.

Bei einem Teil der Polycladen findet jedoch diese direkte Entwicklung des Embryos zum jungen Turbellar nicht statt; vielmehr bildet er hier frühzeitig 8, eine fortlaufende Wimperschnur tragende, lappige Fortsätze, mit deren Hilfe er als sogenannte Müllersche Larve eine Zeitlang umherschwärmt. Dann werden die Lappenfortsätze eingezogen, worauf die Larve zu Boden sinkt und, zur kriechenden Lebensweise übergehend, sich in den Wurm verwandelt. Bei einer Art (Stylochus pilidium) erscheint die vorne und hinten starre Cilien tragende und nur 4 Wimperlappen ausbildende Larve (Goettesche L.) hutförmig, ähnlich wie das Nemertinenpilidium.

II. **Nemertinen.** Soweit bis jetzt bekannt, ähnelt die Furchung, die auch hier dem Spiraltypus folgt, im allgemeinen der der Polycladen; doch ist der Ursprung des Mesoderms noch durchaus ungeklärt. Die Blastula, die eine geräumige Furchungshöhle enthält, plattet sich frühzeitig ab und invaginiert sich zur Gastrula. Diese entwickelt sich entweder direkt (Paläo-, Metanemertinen) oder indirekt unter Metamorphose (Heteronemertinen), wobei zwei verschiedene Larventypen gebildet werden, die Desorsche Larve (bei Lineus) oder das **Pilidium** (bei den übrigen Formen).

Das Pilidium (Fig. 32), dessen Entwickelung am genauesten untersucht ist, entsteht aus der Gastrula, indem jederseits vom Blastoporus ein Mundlappen auswächst, auf den sich eine die Peripherie der Larve umsäumende Wimperschnur fortsetzt. Der durch eine Ektodermverdickung ausgezeichnete Scheitel trägt eine besonders starke Geißel oder einen Wimperschopf. Zwischen den beiden Mundlappen öffnet sich der aus einer Ektodermeinstülpung hervorgegangene Vorderdarm, der in den entodermalen, während des ganzen Larvenlebens blind geschlossenen Darmsack führt. Sehr eigenartig ist die Entwicklung des späteren Wurmes, die innerhalb des ausgeschlüpften, pelagisch lebenden Pilidiums vor sich geht. Zunächst tritt je ein Paar vor und hinter dem Vorderdarm gelegener Ektodermeinstülpungen („Kopf- und Rumpfscheiben", Fig. 32s) auf, die sich von der Haut der Larve ablösen, den Darm rechts und links umwachsen und da, wo sie aneinanderstoßen, gegenseitig verschmelzen. Dadurch entsteht eine doppelte, den Larvendarm umgebende

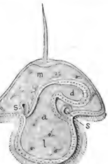


Fig. 32. Pilidium einer Nemertine. a Vorderdarm; d Mitteldarm; l Mundlappen; m Mesenchym; s Kopf- und Rumpfscheiben. Nach Metschnikoff. Aus R. Hertwig.

Hülle, deren inneres, dickeres Blatt weiterhin die ganze wimpernde Hautschicht des Nemertinenkörpers samt Cutis und äußerer Längsmuskelschicht liefert, während das dünnere Außenblatt (Amnion) ihn gegen den nach außen gelegenen Körper des Pilidiums abgrenzt. Eine fünfte, unpaare Ektodermeinstülpung am Vorderende der Larve, die röhrenförmig nach innen wächst, bildet unterdessen die Anlage des Rüssels, Mesenchymzellen, die sich um sie ansammeln, die Anlage des Rhynchocöloms. Vom zentralen Nervensystem entstehen die dorsalen Ganglien aus den Kopf-, die ventralen Ganglien mitsamt den Seitennerven aus den Rumpfscheiben. Die Exkretionsorgane entstehen wahrscheinlich aus einem Paar seitlicher Ausstülpungen des Vorderdarms, die Blutgefäße aus Hohlräumen des Parenchyms. Dann verläßt die junge Nemertine das Pilidium, das leer zurückbleibt und zugrunde geht (oder resorbiert wird). Der Wurm ist um diese Zeit noch afterlos und erhält seine hintere Darmausmündung erst durch eine nachträgliche Ektodermeinstülpung. — Die Desorsche Larve unterscheidet sich vom Pilidium dadurch, daß sie nicht aus der Eihülle ausschlüpft und daher der larvalen Bewegungsorgane (Mundlappen, Wimperschnur, Geißel), die jenes auszeichnen, entbehrt. Im allgemeinen entsteht der Wurm innerhalb der Larve auf ähnliche Weise wie beim Pilidium, wenn auch die Einzelheiten der Entwickelung erheblich modifiziert sind. Weniger gut bekannt ist der Verlauf der **direkten** Entwickelung. Besonders stark widersprechen sich die Angaben über das Verhalten des Mesoderms, die Bildung des Zentralnervensystems und das Zu-

Digitized by Google

standekommen der Verbindung von Vorderdarm und Rüssel. Strittig ist auch die Frage, ob etwa ein Cölom angelegt wird oder nicht (vgl. Salensky, Bull. Acad. Petersburg (6) 3. 1909).

3b) Formen mit zusammengesetzten Eiern. Der eigenartige Bau der ektolecithalen Eier bringt es mit sich, daß sich ihre Entwickelung von der der endolecithalen in charakteristischer Weise unterscheidet. Die Keimzelle ist hier nicht imstande, sich frei zu teilen, sondern wird von Dotterzellen umschlossen, die ihr das zur Entwickelung nötige Nährmaterial liefern. Infolgedessen zeigen die meist inäqual (Rhabdocöliden, Trematoden, Cestoden), seltener äqual (Tricladen) verlaufenden Teilungsvorgänge eine große Irregularität, die es unmöglich macht, die Herkunft der einzelnen Furchungszellen zu ermitteln. Bei den Allöocölen (Fig. 33) und

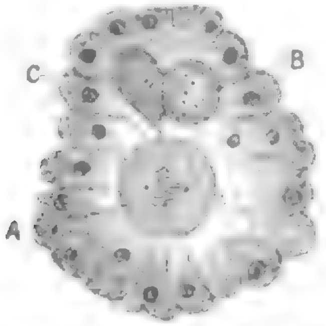


Fig. 33. Schnitt durch ein Dreizellenstadium von Plagiostomum girardi. Die 3 Blastomeren (1 Macromer A, 2 Micromeren B und C) rücken innerhalb der sie umgebenden Dotterzellenmasse auseinander. Nach Bresslau.

Tricladen kommt dazu noch, daß die aus den ersten Teilungen hervorgegangenen Blastomeren nicht in Zusammenhang bleiben, sondern sich in der sie umgebenden Dotterzellenmasse zerstreuen und erst nach einiger Zeit wieder zu einem rundlichen Zellenhaufen (embryonales Blastem) zusammenschließen. Eine typische Gastrulation, die zu einer bestimmten Sonderung von Keimblättern führt, findet nirgends statt. Die Bildung der einzelnen Organe geschieht vielmehr überall in der Weise, daß sich ihre Anlagen direkt aus dem embryonalen Blastem differenzieren. Es zeigen sich hierbei in den einzelnen Gruppen beträchtliche Unterschiede die eine gesonderte Besprechung erforderlich machen.

Rhabdocöliden. Die Organbildung beginnt damit, daß innerhalb des embryonalen Blastems drei Zellenkomplexe sichtbar werden, von denen 2 die paarige, durch das frühzeitige Auftreten der Punktsubstanz und der Augen charakterisierte Anlage des Gehirns darstellen, während der dritte die Anlage des Pharyngealbulbus und des unmittelbar dahinter gelegenen Genitalapparates repräsentiert (Fig. 34). Als-dann sondert sich an der Ventralseite des Embryos die periphere Zellenschicht von ihm ab und liefert, indem sie sich dorsal über ihm und der zugehörigen Dottermasse zusammenschiebt, die gesamte Epidermis, bisweilen durch Einwucherung in die Anlage des Pharyngealbulbus auch noch die Auskleidung von Schlund und Schlundtasche. Ganz zuletzt, nachdem sich vorher noch die beiden Hauptstämme des Excretionsapparates differenziert haben, entsteht der Darm, dadurch daß innerhalb der Dottermasse Spalträume auftreten und von bis dahin indifferent gebliebenen Zellen des Embryos umwachsen werden. Der Rest dieser Zellen bildet das Parenchym des nunmehr zum Ausschlüpfen reifen Wurms.

Während die Entwickelung im allgemeinen überall in der geschilderten Weise verläuft, kann das Verhalten der Dotterzellen bemerkenswerte Verschiedenheiten zeigen, und zwar nicht nur bei verschiedenen Arten, sondern auch bei den Subitan- und Dauereiern derselben Spezies. So liefern die Dotterzellen bei Paravortex cardii

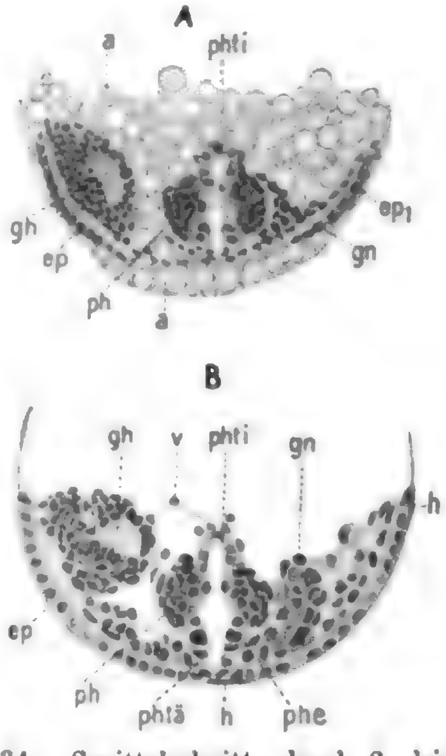


Fig. 34. Sagittalschnitte durch 2 gleich weit entwickelte Subitaneier (nur die ventrale Hälfte gezeichnet) von Bothromesostoma personatum (A) und Mesostoma ehrenbergi (B). An der Ventralseite von A liegt noch Dottermasse (a); die Epidermis ist daher hier zwischen ep und ep_1 unterbrochen und das Epithel des Pharynx (ph) folglich ohne Zusammenhang mit ihr entstanden. Das seiner Gestalt nach damit vollkommen übereinstimmende Pharyngealepithel (phe) von B ist dagegen aus einer Epidermiseinstülpung hervorgegangen. ep Epidermis; gh Gehirn; gn Anlage der Geschlechtsorgane; h Hüllmembran; phtä Pharyngealtasche; phti Oesophagus; v Kern einer Dotterzelle. Nach Bresslau.

Digitized by Google

(Hallez, Arch. Zool. Exper. (4) 9, 1909) und in den Subitaneiern von Mesostoma ehrenbergi außer dem notwendigen Nährmaterial eine den Embryo rings umschließende, zelluläre Hüllmembran (Fig. 34 B, h), die bei anderen Spezies nur durch vereinzelte Elemente angedeutet wird oder, wie in den Dauereiern der letztgenannten Art, fehlt. Bei sehr reichem Dotter wird ferner das Pharynxepithel nicht durch eine Einstülpung der Epidermis gebildet (wie in den Subitaneiern von Mesostoma ehrenbergi, Fig. 34 B), sondern innerhalb des die Schlundanlage darstellenden Zellenhaufens, also scheinbar im Parenchym, differenziert (Subitaneier von Bothromesostoma personatum, Dauereier von Mesostoma ehrenbergi, Fig. 34 A). Es führt dies vor Augen, wie das Anwachsen der in den zusammengesetzten Eiern enthaltenen Dottermasse Verschiebungen in der Lokalisation des Anlagenmaterials, aus dem die einzelnen Organe hervorgehen, nach sich zieht; die scheinbar parenchymale Position, in der die Gehirnanlagen bei allen Formen mit ectolecithalen Eiern auftreten, darf also durchaus nicht ohne weiteres, wie oft geschehen, als Zeichen mesodermalen Ursprungs und folglich prinzipieller Verschiedenheit von dem ektodermalen Hirn der Polycladen gedeutet werden.

Tricladen. Während bei den Rhabdocöliden die Dottermasse von der Epidermis umwachsen und dadurch dem Embryo einverleibt wird, geschieht ihre Inkorporierung bei den Tricladen in noch viel eigentümlicherer Weise. Nachdem nämlich das embryonale Blastem gebildet ist, rückt ein Teil der Blastomeren an die Peripherie der es unmittelbar umgebenden, syncytial gewordenen Dottermasse, um hier einen sogenannten Embryonalpharynx zu formieren, während der Rest sich teils in dem Dottersyncytium zerstreut (Wanderzellen) teils ein dünnes Häutchen (provisorisches Ectoderm) darum herstellt, teils in seinem Inneren einen an den Embryonalpharynx anschließenden, provisorischen Darm bildet (Fig. 35 A). Dann beginnt der Embryonalpharynx zu funktionieren und in solchen Massen Dotterzellen zu schlucken, daß sich die bis dahin solide Syncytiumkugel des Embryos zu einer mehr und mehr anschwellenden, durch Anfüllung und Ausdehnung des Darmes immer dünnwandiger werdenden Hohlkugel umwandelt (Fig. 35 B). Wenn alle Dotterzellen geschluckt sind, degeneriert der Embryonalpharynx, während gleichzeitig unabhängig von ihm, aber dicht benachbart, der definitive Pharynx sich anlegt. Das Pharyngealepithel nimmt dabei seinen Ursprung in unmittelbarer Nähe einer peripheren Schicht von Wanderzellen, die sich zur definitiven Epidermis des Wurms entwickelt. Zugleich verwandelt sich der embryonale Darm in den definitiven, indem zu den ihn auskleidenden Zellen massenhaft Wanderzellen hinzutreten. In den Darmhohlraum vorwachsende Septen führen seine dreischenkelige Gestalt herbei. Alle übrigen Organe: Nervensystem und Augen, Muskulatur und Geschlechtsorgane entstehen gleichfalls durch direkte Differenzierung aus embryonalen Wanderzellen, die zwischen Haut und Darm übrig geblieben sind.

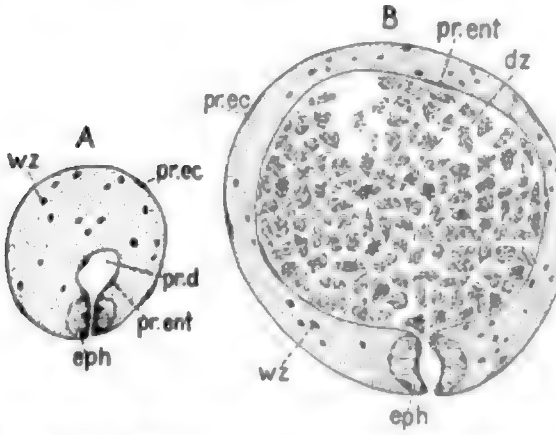


Fig. 35. Medianschnitte durch 2 Embryonen von Planaria gonocephala: A vor, B während des Aufschluckens der Dotterzellen (dz). eph Embryonalpharynx; pr. d, pr. ec, pr. ent provisorischer Darm, provisorisches Ecto- und Entoderm; wz Wanderzellen. Nach Präparaten des Verfassers.

Einzelne Tricladen und Rhabdocöliden besitzen die Fähigkeit, sich auch ungeschlechtlich, durch Teilung, fortzupflanzen. Bei den Tricladen scheint dies eng mit ihrer hohen Regenerationskraft zusammenzuhängen, die es den Tieren gestattet, bei Durchtrennung, wie sie wohl gelegentlich durch äußere Einflüsse bewirkt werden kann, jedes der Teilstücke wieder zu einem vollständigen Individuum zu ergänzen. Einzelne Formen, die sich normalerweise nur geschlechtlich vermehren, können unter pathologischen Bedingungen zu spontanen Teilungen schreiten (Planaria alpina). Bei anderen (Planaria vitta, Polycelis cornuta, einzelnen Pelmatoplana-, Dolichoplana- und Bipaliumarten) ist Teilung zu einer regulären Fortpflanzungsart geworden. Bisweilen werden schon vor der Durchschnürung die in den Teilindividuen zu ersetzenden Organe angelegt (Planaria fissipara). — Bei den wenigen, ausschließlich den Catenuliden und Microstomiden angehörigen Rhabdocölidenarten, die sich durch Teilung vermehren, wird sie stets durch vorherige, vollständige Ausbildung der neuen Organe vorbereitet. Dies geschieht oft in so rascher Folge, daß, noch ehe die erste Teilung abgelaufen ist, schon die nächste sich ankündigt u. s. f. Auf diese Weise können ganze Ketten (Fig. 36) mehr oder weniger ausgebildeter Individuen (bis zu 18 Zooide bei Microstomum) entstehen.

Trematoden. Auch in dieser Ordnung differenziert sich der Embryo mit allen seinen

Organen direkt aus dem bei der Furchung entstehenden embryonalen Blastem; doch

Fig. 36. Stenostomum langi, Kette mit 5 Zooiden, die durch Ringfurchen (f) gegeneinander abgesetzt sind. da Darm; oe Oesophagus; ph Pharynx; wg Wimpergrübchen. Nach Keller. Aus v. Graff (in Brauers Süßwasserfauna Deutschlands).

wird dabei die Dottermasse, die den Keim bisweilen nicht allseitig umgibt, sondern ihm nur auf einer Seite anliegt (vgl. Fig. 30 B), weder umwachsen noch geschluckt, sondern

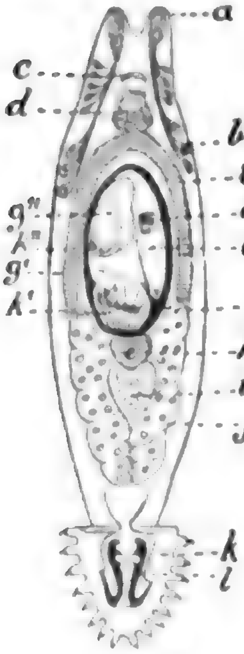
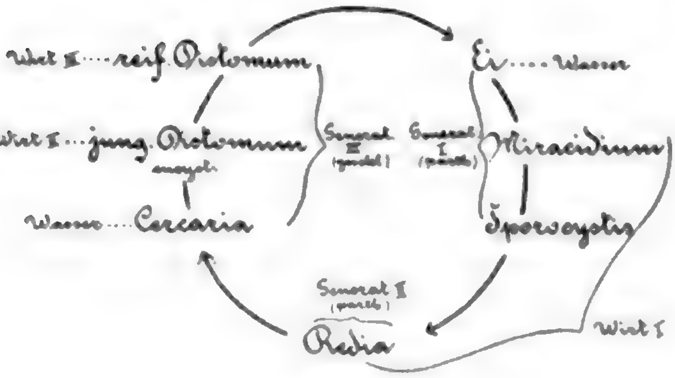


Fig. 37. Gyrodactylus elegans, Ventralansicht. a Kontraktile Zipfel des Vorderendes mit den Ausmündungen der Kopfdrüsen (b); c Mund; d Pharynx; c_1 Mund, d_1 Pharynx des ersten Embryos; e Darm; f Uterus mit Embryo (g_1), in dem bereits ein zweiter Embryo (g_{11}) angelegt ist; h Ei im Eileiter; i Hoden; j Ovar; k Haftscheibe, die im Innern 2 große Chitinhaken (l) und an der Peripherie 16 kleine, hakentragende Papillen trägt; k_1 Haftscheibe des ersten, k_{11} des zweiten Embryos. Nach Benham.

allmählich resorbiert. Die Entwickelung erscheint daher in dieser Beziehung relativ einfach, zumal bei den Monogenea, wo der Embryo häufig schon innerhalb der Eihülle annähernd die Gestalt des Muttertiers erreicht, oder sich doch, wenn er als bewimperte Larve ausschlüpft und eine kurze Zeit frei umherschwärmt (Diplozoon, Polystomum), alsbald nach der Festsetzung auf seinem künftigen Wirt zum jungen Trematoden umwandelt.

Eigenartig gestaltet sich die Entwickelung bei der lebendig gebärenden und wegen Fehlens des Dotterstocks einfache Eier produzierenden Gattung Gyrodactylus (Fig. 37). Noch während der Ausbildung des ersten Embroys legt sich nämlich in diesem ein zweiter an, darin ein dritter und in diesem wieder ein vierter, so daß es den Anschein hat, als ob im Muttertier noch vier weitere Generationen ineinandergeschachtelt seien. Wahrscheinlich sind die vier ineinandersteckenden Embryonen aber nur als Abkömmlinge eines einzigen, in vier Teilstücke zerfallenden Eies aufzufassen (Katharinei, Zool. Jahrb. Suppl. **7**, 1904). Bei der Entwickelung der Temnocephalen (Haswell, Quart. Journ. Micr. Sc. **54**, 1910) entsteht im embryonalen Blastem frühzeitig ein von einem dünnen Epithel ausgekleideter Hohlraum, der entfernt an den provisorischen Darm der Tricladen erinnert, ohne aber wie dieser zu funktionieren.

Bei den Digenea umgibt sich der Embryo frühzeitig mit einer aus Blastomeren zusammengesetzten Hüllmembran, die aber beim Ausschlüpfen in der Eischale zurückgelassen wird. Ein weiterer Unterschied gegenüber den Monogenea besteht darin, daß die Entwickelung meist mit einem Generationswechsel, und zwar mit einem Wechsel zwischen parthenogenetisch und geschlechtlich sich fortpflanzenden Generationen (Allöogenesis, in neuerer Zeit vielfach auch als Heterogonie bezeichnet), verbunden ist und außerdem noch durch ein- oder mehrfachen Wirtswechsel kompliziert wird. Generationsfolge und Wirtswechsel sind dabei durchaus voneinander unabhängig, wie der nebenstehende, für die Mehrzahl der Fascioliden typische „Zeugungskreis" veranschaulicht.



Danach schlüpfen aus den Eiern, die mit dem Kot des Wirtes III (Endwirt) ins Wasser gelangen, relativ hoch organisierte, oft mit Augen und einem Bohrstachel versehene Larven (Miracidien, Fig. 15) aus, die durch den Besitz eines ganz oder zum Teil bewimperten Epithels, eines einfachen Darmsackes, sowie eines Paares getrennt ausmündender Protonephridien an Turbellarien erinnern. Sie können indessen nur kurze Zeit frei leben und müssen, um nicht zugrunde zu gehen, in den Körper

igitized by Googl

eines ihnen zusagenden Wirtes (stets ein Mollusk) eindringen. In diesem verwandeln sie sich unter Abwerfen des Wimperepithels und unter Rückbildung der meisten inneren Organe in darmlose Keimschläuche (Sporocysten), die in ihrem Inneren eine Anzahl schon in den Miracidien angelegter Keimzellenballen enthalten und diese nach vorausgegangener Reifeteilung (Cary, Zool. Jahrb. 28 Anat. 1909) auf parthenogenetischem Wege zur Entwicklung bringen. Sie erzeugen so eine zweite Generation (Redien, Fig. 38), deren Individuen wiederum Keimschläuche darstellen, aber zum Unterschiede von den Sporocysten regelmäßig einen einfachen Darm mit muskulösem Pharynx und eine in der Nähe des Vordergrundes gelegene Geburtsöffnung besitzen. Erst die Redien entwickeln dann, und zwar gleichfalls parthenogetisch, die Jugendstadien der später geschlechtsreif werdenden Formen (Cercarien, Fig. 39), die im großen und ganzen be-

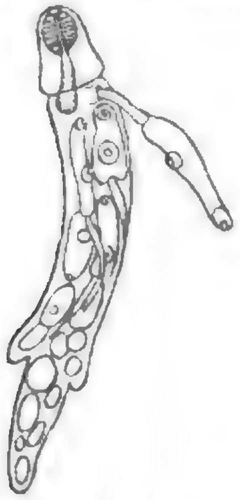


Fig. 38.

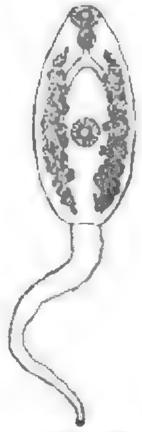


Fig. 39.

Fig. 38. Redia eines digenetischen Trematoden (Echinostomum revolutum?), aus deren Geburtsöffnung gerade eine Cercarie ausschlüpft.

Fig. 39. Cercaria von Fasciola hepatica. Rechts und links vom Bauchsaugnapf, den Gabeldarm zum Teil verdeckend, die Cystogendrüsen. Aus Lühe (in Brauers Süßwasserfauna Deutschlands).

reits die Organisation der erwachsenen Tiere zeigen, außerdem aber häufig mit Augen, einem Bohrstachel und besonderen Hautdrüsen (Cystogendrüsen) versehen sind und, mit wenigen Ausnahmen (Cercariäum), am Hinterende einen bei den verschiedenen Arten verschieden gestalteten, aber stets sehr charakteristischen Ruderschwanz tragen. Die Cercarien verlassen fast immer den Wirt, der die Miracidien, Sporocysten und Redien beherbergt hatte, um einen zweiten Zwischenwirt (je nach der Art ein wirbelloses Wassertier, Fisch oder Amphibium) aufzusuchen und unter Verlust des Ruderschwanzes in ihn einzudringen. In diesem umgeben sie sich mit einer von den Cystogendrüsen ausgeschiedenen Kapsel, aus der sie nur frei werden, wenn sie durch Verfütterung in ein neues Wohntier (Wirt III, fast immer ein Wirbeltier) gelangen, in dem sie die zur Erreichung der Geschlechtsreife notwendigen Bedingungen finden.

Die Entwickelung verläuft jedoch nicht immer in der geschilderten Weise. Sie kann vielmehr noch komplizierter sein, indem aus den Sporocysten mehrere Rediengenerationen hervorgehen, deren letzte erst Cercarien erzeugt (Fasciola hepatica während des Winters), andererseits aber auch Vereinfachungen aufweisen, sowohl was die Zahl der Wirte, wie die Zahl der Generationen anlangt. So fällt nicht selten der zweite Zwischenwirt aus, bald dadurch, daß die Cercarien sich an Pflanzen encystieren, die vom Endwirt gefressen werden (Fasciola hepatica), bald dadurch, daß sie mit dem Trinkwasser sofort in den Endwirt gelangen (Dicrocoelium lanceatum; Zarnik, Sitzsber. Phys. Med. Ges. Würzburg 1910), oder daß sie sich aktiv durch die Haut in ihn einbohren (Schistosomum hämatobium). Bisweilen fehlt die Rediengeneration, so daß die Sporocysten direkt Cercarien hervorbringen (Opisthioglyphe ranae). Noch weiter vereinfacht ist die Entwickelung bei Urogonimus macrostomus, dessen durch eigenartige Verzweigung und auffällige Pigmentierung ausgezeichnete Sporocysten (früher als Leucochloridium paradoxum beschrieben) direkt encystierte Cercarien erzeugen, mit denen sich die Endwirte (verschiedene Singvögel) dadurch infizieren, daß sie Stücke der Sporocysten aus der als Zwischenwirt dienenden Schnecke (Succinea putris) herauspicken. Es ist hier aber nicht nur die freie Existenz der Cercarien ausgeschaltet, sondern auch die der Miracidien, da diese nicht im Wasser aus den Eiern ausschlüpfen, sondern erst wenn sie durch Verfütterung in den Darm des Zwischenwirtes gelangt sind. Aehnlich verhalten sich auch die Miracidien von Dicrocoelium lanceatum.

Cestoden. Die Embryonalentwickelung, die meist intrauterin verläuft, bisweilen aber erst beginnt, wenn die Eier ins Wasser geraten, erinnert in mancher Beziehung an die der digenetischen Trematoden, besonders bei den Dibothriocephalen, deren Embryonen den Dotter ganz allmählich resorbieren und sich sowohl mit einer Hüllmembran, wie mit einem darunter gelegenen, langbewimperten Epithel umgeben (Fig. 40). Etwas anders verhalten sich die Tänien. Hier erfolgt die Abgabe des Dotters an die Keimzelle sehr rasch (v. Janicki, Zeitschr. Wiss. Zool. 87, 1907), ferner wird statt des Wimperepithels unter der Hüllmembran noch eine zweite, oft radiär gestreift erscheinende, chitinartig feste Embryonalschale gebildet, die in vielen Fällen, wo die äußerst hinfällige Eischale mitsamt der Hüllmembran noch vor dem Ausschlüpfen des Embryos verloren geht, den alleinigen Schutz des letzteren übernimmt (Fig. 41). Gewöhnlich

sind es derart beschalte Embryonen, die man als „Tänieneier" zu Gesicht bekommt. — Der Embryo selbst besteht überall aus einem kugeligen oder ovalen Blastem, dessen auffallendste Bildungen 3 Häkchenpaare (bei den Cestodarien 5) darstellen; daneben sind einzelne Terminalzellen, sowie Muskeln zur Bewegung der Häkchen differenziert. Die Hakenlarve (Oncosphära) kann bei denjenigen Formen, wo sie von einer Wimperhülle umgeben ist, aus dem Ei ausschlüpfen und einige Zeit frei umherschwimmen, sinkt aber stets früher oder später zu Boden — meist nach Abwerfen der Wimperepithels — und kann sich nur weiter entwickeln wenn sie in einen passenden Zwischenwirt gelangt. Auch die beschalten Oncosphären bedürfen

Fig. 40.

Fig. 41.

Fig. 40. Dibothriocephalus latus, bewimperte Larve mit eingeschlossenem 6hakigem Embryo. Eischale und Hüllmembran sind abgestreift.

Fig. 41. „Ei" von Taenia saginata. Der 6hakige Embryo liegt in der Embryonalschale. Eischale und Hüllmembran sind abgestreift. Aus R. Hertwig.

zu ihrer Weiterentwickelung des Imports in ein geeignetes Wohntier (meist passiv, durch Verfütterung), wo die Larve durch Platzen

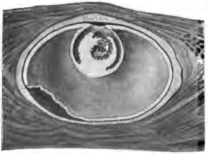


Fig. 42. Durchschnitt durch einen Cysticercus von Taenia solium, umgeben von Cyste und Muskulatur. Nach Schaaf (Zoologisches Jahrbuch **22**, Anatomie, 1906).

der Embryonalschale frei wird. In dem Zwischenwirt, der je nach der Art des Parasiten ein Wirbeltier oder ein Evertebrat ist, wandert die Larve, mit Hülfe ihrer Häkchen die Darmschleimhaut durchbohrend, entweder aktiv weiter, oder sie wird passiv durch den Blut- oder Lymphstrom verschleppt, bis sie in ein ihr zusagendes Organ gelangt, wo sie sich zur Finne umwandelt. Weiter geht die Entwickelung zunächst nicht. Erst wenn die Finne aus dem Zwischenwirt in den Darmkanal eines neuen, geeigneten Wirtes gelangt — was meist dadurch geschieht, daß ersterer von letzterem gefressen wird — kann Geschlechtsreife eintreten und damit der Lebenszyklus des Individuums seinen Abschluß finden.

Die Finnen selbst sind sehr verschiedenartig gebaut. Im einfachsten Falle geht die ganze Finne (Plerocercoid) unmittelbar aus der Oncosphaera hervor. Ihr solider, wurmartiger Körper trägt nur am Vorderende eine kleine Einstülpung und entspricht dem Scolex samt dem bisweilen (Ligulinae) schon im Zwischenwirt beträchtliche Länge erreichenden oder gar Anlagen der Genitalorgane ausbildenden Körper des künftigen Bandwurms. In anderen Fällen entsteht aus der Oncosphära zunächst nur eine dünnwandige, mit Flüssigkeit erfüllte Blase, die erst secundär am Grunde einer zapfenartigen Einstülpung ihrer Wand (Kopfzapfen) den im Finnenstadium meist dauernd eingestülpt bleibenden Scolex hervorknospen läßt (Cysticercus, Fig. 42). Bei einer dritten Finnenart erzeugt die Blase den eingezogenen Scolex in natürlicher Stellung und bildet vielfach noch einen die Oncosphaerahaken tragenden Schwanzanhang aus (Cysticercoid, Fig. 43). Während der Umwandlung

Fig. 43. Cysticercoid einer Hymenolepisart (H. collaris?). s Schwanzanhang mit den 6 Oncosphaerahäkchen. Nach v. Daday. Aus Lühe (in Brauers Süßwasserfauna Deutschlands).

in den Bandwurm geht die Blase der Cysticerken und Cysticercoide stets verloren, so daß nur der ausgestülpte Scolex erhalten bleibt, der dann an seinem hinteren Ende die Proglottiden bildet.

Digitized by Google

Abweichungen von dem geschilderten Entwickelungstypus erscheinen relativ selten. In einzelnen Fällen werden schon im Cysticercusstadium einzelne Glieder angelegt und bei der Verwandlung in den Bandwurm mit übernommen (Cyst. fasciolaris; Bartels, Zool. Jahrb. 16, Anat. 1902). Bei den Ligulinen, einzelnen Tetraphyllideen (Calliobothrium) und Tetrarhynchen ist bisweilen zu beobachten, daß die Finnen den Körper des Zwischenwirtes verlassen und frei von den Endwirten aufgenommen werden. Eine wesentliche Vereinfachung besteht bei Archigetes, wo das Finnenstadium niemals überschritten wird, der Wurm vielmehr unter Beibehaltung der Cysticercoid-Schwanzblase schon in der Leibeshöhle des ersten, wirbellosen Wirtes (Oligochäten) volle Geschlechtsreife erlangt. Auf andere Weise, durch Ausfall des Zwischenwirtes, erklärt sich das Fehlen des Wirtswechsels bei Hymenolepis murina; hier gelangen die in den Darmzotten von Ratten und Mäusen sich entwickelnden Cysticercoide nach vollendeter Ausbildung in das Darmlumen zurück, worauf sie zum Bandwurm auswachsen. Umgekehrt kann sich der für den geschlechtsreifen Bandwurm typische Wirt gelegentlich mit den zugehörigen Finnen infizieren (Taenia solium). Komplizierter gestaltet sich die Entwickelung dadurch, daß Cysticerken, die normalerweise nur e i n e n Scolex produzieren, bisweilen deren m e h r e r e hervorbringen (C. tenuicollis, C. fasciolaris) oder gar durch Abschnürung kleiner Tochterblasen eine größere Anzahl neuer Cysticerken erzeugen (C. longicollis).

Die zuletzt erwähnten Vorkommnisse leiten zu dem Verhalten einiger Tänienarten über, deren Finnen regelmäßig zahlreiche Scoleces hervorbringen. Diese können bald, wie der einfache Scolex der gewöhnlichen Cysticerken, an der Blasenwand direkt entstehen, bald erst in endo- oder exogen gerichteten, sekundären oder tertiären Ausstülpungen derselben (T o c h t e r- bezw. E n k e l b l a s e n). Ersterer Modus ist im allgemeinen für die als C o e n u r u s bezeichneten Finnen charakteristisch, unter denen C. cerebralis aus dem Hirn der Schafe am bekanntesten ist, letzterer Modus besonders für die im Schlachtvieh ungemein verbreitete, häufig auch dem Menschen verderbliche, bis Kindskopfgröße erreichende E c h i n o c o c c u s - Finne des Hundebandwurms Taenia echinococcus. Eine scharfe Scheidung der beiden Bildungsweisen besteht jedoch nicht, indem sowohl Echinokokken mit direkt von der Mutterblasenwand gebildeten Scoleces vorkommen, als auch Coenuren mit Scoleces erzeugenden, durch Umwandlung primärer Scoleces in Brutkapseln entstandenen Tochter- und Enkelblasen (Fig. 44, vgl. Kunsemüller, Zool. Jahrb. 18, Anat. 1903). Da die Echinococcusköpfchen gleichfalls die Fähigkeit besitzen, sich in fertile Brutkapseln umzudifferenzieren, ist bei Punktionen oder Operationen von Echinococcuscysten eine Aussaat von Scoleces, die sich im Innern der Cysten oft massenhaft abgelöst finden, (sogenannter Hydatidensand) sorgfältig zu vermeiden (Hosemann, Beitr. Klin. Chirurg., 1911).

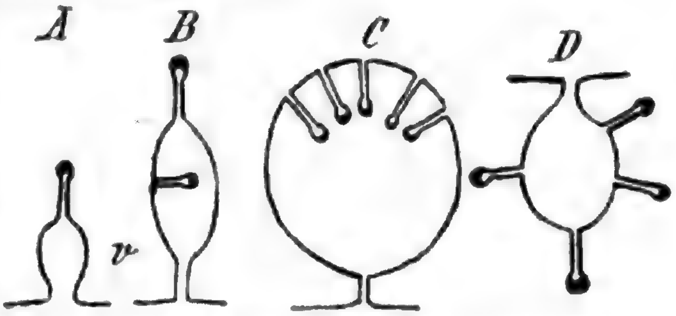


Fig. 44. Schema der Umwandlung von Coenurus cerebralis-Scoleces in Tochterblasen. A Scolex mit Uebergangszone v, an der sich in B ein neuer Scolex bildet. C Tochterblase mit 5 Scoleces. D eingestülpte Tochterblase mit 4 Scoleces. Nach Kunsemüller. Aus Korschelt-Heider.

Die Fortpflanzungsweise der Cestoden ist früher oft als ein mehrfacher Wechsel ungeschlechtlicher und geschlechtlicher Generationen (Metagenesis) angesehen worden, indem man annahm, die aus dem Ei hervorgehende Oncosphaera erzeuge nach ihrer Verwandlung in die Cysticercusblase (1. Generation) durch endogene Knospung den Scolex (2. Generation), und dieser wieder durch terminale Knospung die geschlechtlich sich fortpflanzenden Proglottiden (3. Generation); als Konsequenz dieser Auffassung ergab sich zugleich die Lehre, daß der ganze Bandwurm kein Individuum, sondern eine Kette von Individuen, ein Tierstock sei, zumal da man auch beobachten konnte, daß abgelöste Proglottiden längere Zeit frei zu leben vermögen. Demgegenüber ist einzuwenden, 1. daß, wie die Plerocercoide lehren, die Cysticercusblase nur das in der Entwickelung vorauseilende, hintere Ende der Finne, aber keine selbständige Generation ist, 2. daß abgesehen von den Geschlechtsapparaten die meisten anderen Organsysteme einheitlich durch die ganze Proglottidenkette hindurchlaufen, 3. daß eine kontinuierliche Formenreihe von den ungegliederten Cestodarien und Caryophylläiden mit einfachem Geschlechtsapparat über die Ligulinen mit noch nicht oder nur teilweise gegliedertem Körper, aber zahlreichen Genitalorganen zu den typischen, gegliederten Bandwürmern hinüberführt, 4. daß bei recht verschiedenartigen Cestoden eine Verdoppelung der Genitalorgane in den einzelnen Proglottiden selbst zu beobachten ist (Fig. 28), und daß folglich aus der Vielheit der Geschlechtsapparate an sich keineswegs auf eine Zusammensetzung des Bandwurms aus ebensovielen Individuen geschlossen werden darf, 5. daß bereits bei freilebenden Plathelminthen die Fähigkeit zur Vervielfältigung der Geschlechtsorgane innerhalb eines Individuums besteht (Vermehrung der Penes bei manchen Polycladen), 6. daß gerade im Dienste der Fortpflanzung stehende Körperteile sich nicht selten ablösen und frei bewegen können (Hectocotylus der Cephalopoden, hintere Körperabschnitte mancher Anneliden). Die Entwickelung der Cestoden wird daher richtiger wohl als eine mit W i r t s w e c h s e l v e r b u n d e n e,

Digitized by Google

komplizierte Metamorphose aufgefaßt, zumal da die Entwickelung der Nemertinen aus dem Pilidium mancherlei Analogien mit der Verwandlung der Finnen in den Bandwurm darbietet. Mit mehr Recht kann man in den Fällen, wo der Cysticercus durch Knospung eine größere Zahl von Scoleces hervorbringt, die ungeschlechtlich erzeugt ihrerseits zu geschlechtlich sich fortpflanzenden Bandwürmern auswachsen, einen Generationswechsel erblicken.

Es sei hier ferner erwähnt, daß der schon früher mehrfach unternommene Versuch, die übliche Orientierung der Cestoden (Scolex = Vorderende, Proglottidenkette nach hinten sich erstreckend) umzukehren, auch in neuerer Zeit mehrfach wiederholt worden ist. Zur Begründung wurde hauptsächlich angeführt, daß die Haken der Oncosphaera an dem bei der Bewegung nach vorne gerichteten Körperpole liegen, und daß daher die Schwanzblase der Finnen und des geschlechtsreifen Archigetes, weil die Embryonalhäkchen tragend, das Vorder- und dementsprechend der Scolex das Hinterende repräsentiere (Cohn, Zool. Anz. **32**, 1908, **38**, 1911). Man hat ferner darauf hingewiesen, daß in dem zur Befestigung dienenden Hinterende gewisser, zu freier Bewegung fähiger Cestodarienarten (Gyrocotyle) ganz ähnliche Ringkommissuren zwischen den Längsnervenstämmen ausgebildet sind, wie im Scolex der gegliederten Cestoden, während ihr Vorderende ein an die monogenetischen Trematoden erinnerndes Hirn und von diesem aus innervierte Hautsinnesorgane besitzt (Watson, Univ. California Publ. **6**, 1911). Diese Gründe sind jedoch keineswegs durchschlagend. Sowohl über die Orientierung der Oncosphära, wie über den Ort der ersten Scolexanlage bestehen noch mancherlei Unklarheiten. Auch ist es durchaus zweifelhaft, ob die bei der Ausbildung der Finne funktionslos werdenden Oncosphaerahaken als topographische Fixpunkte geeignet sind. Das ähnliche Verhalten des Nervensystems im Hinterende von Gyrocotyle und im Scolex der gegliederten Cestoden kann endlich sehr wohl mit ihrer gleichen Funktion als Befestigungsorgane zusammenhängen, ohne deswegen zu beweisen, daß der Scolex als Hinterende anzusehen ist.

4. Systematik und Phylogenie. Von den 4 Ordnungen der Plathelminthen sind bisher nur die Turbellarien und Nemertinen systematisch einigermaßen vollständig durchgearbeitet. Bei den Trematoden und Cestoden ist die Bearbeitung des Systems zurzeit noch in vollem Gange.

Die Reihenfolge, in der die 4 Ordnungen besprochen werden sollen, ist wie üblich: Turbellaria, Trematodes, Cestodes, Nemertini. Bei der Fülle der Formen, die jede von ihnen umfaßt, können jeweils nur die wichtigsten Familien Erwähnung finden.

1. Ordnung **Turbellaria, Strudelwürmer.** Meist freilebende, mit wimperndem, in der Regel Stäbchen führendem Epithel bekleidete, ungegliederte Plattwürmer, mit verdauendem Parenchym oder einfachem oder verästeltem, afterlosem Darm. Fast durchweg Zwitter. Entwickelung direkt, nur bei einem Teil der Polycladen mit Metamorphose verbunden. Ca. 1100 Arten.

Die in den meisten Lehrbüchern übliche Einteilung der Turbellarien in **Rhabdocöla** (ohne oder mit einfachem Darm: Acöla + Rhabdocölida) und **Dendrocöla** (mit verzweigtem Darm: Tricladida + Polycladida) ist durchaus unnatürlich, da die Tricladen durch tiefgreifende Unterschiede in Bau und Entwickelung von den Polycladen getrennt sind und eher verwandtschaftliche Beziehungen zu den Allöocölen zeigen. Man unterscheidet daher richtiger 4 Unterordnungen: Acöla, Rhabdocölida, Tricladida und Polycladida, wobei man mit v. **Graff** zweckmäßig die mit einem Darm versehenen Formen als **Cölata** den **Acöla** gegenüberstellen kann.

1. Unterordnung **Acöla.** Kleine darmlose Formen (stets unter 1 cm), ohne oder mit Pharynx simplex, mit Statocyste. Durchweg marin, meist litoral, seltener pelagisch. 2 Familien mit 12 Gattungen und ca. 45 Arten. (Vgl. **Luther**, Act. Soc. Faun. Flor. Fenn. **36**, 1912.)

Proporidae. Ohne Bursa seminalis, mit einer einzigen Geschlechtsöffnung. **Proporus venenosus**, Körper walzenförmig. **Haplodiscus**, Körper scheibenförmig, 8 pelagische Arten, 1 parasitisch in Echinocardium. **Childia spinosa** mit doppeltem Penis. — **Convolutidae.** Mit Bursa seminalis, die meist mit einem Chitinmundstück versehen ist, nach dem Bau des Parenchyms und auch sonst im allgemeinen höher organisiert als die Proporiden. Mit einfacher Geschlechtsöffnung: **Otocelis rubropunctata** (Fig. 9). Mit getrennter männlicher und weiblicher Oeffnung: verbreitetste Gattung **Convoluta** mit 20 Arten (darunter 3 pelagisch), häufig die Seitenränder des abgeplatteten Körpers tütenförmig ventralwärts eingeschlagen. C. **convoluta** (paradoxa) stets mit Zooxanthellen, die bandfömige C. **roscoffensis** (Fig. 18) mit Zoochlorellen. **Monochoerus illardatus** pelagisch. **Polychoerus**, mit vielen (bis 50) Bursamundstücken. **Aphanostoma**, Bursamundstück schwach oder fehlend.

2. Unterordnung **Rhabdocölida.** Mit einheitlichem Darmsack und meist zusammengesetztem Pharynx. Zahl und Lage der Geschlechtsöffnungen wechselnd. Ca. 350 Arten von geringer Größe und verschiedener Gestalt, die nach dem Bau des Darms, Parenchyms und des Nervensystems in zwei schwierig voneinander abzugrenzende Sektionen zerfallen.

I. Sektion **Rhabdocöla.** Darm meist regelmäßig stab- oder sackförmig, selten seitliche Divertikel tragend. Parenchym in der Regel locker, oft mit großen Spalträumen. Hintere Nervenstämme auf 1 Paar reduziert oder, falls noch andere Längsstämme vorhanden sind, diese an Stärke weit übertreffend. Etwa $^2/_3$ der ca. 275 Arten im süßen Wasser, Rest marin, darunter zahl-

Digitized by Google

reiche Parasiten; einige Formen auch in feuchter Erde. Man unterscheidet 2 Gruppen, je nachdem, ob die weiblichen Gonaden als Ovarien (**Hysterophora**) oder als Germovitellarien bezw. Germarien und Vitellarien ausgebildet sind (**Lecithophora**).

A. **Hysterophora.** Von den 3 hierher gehörigen, 10 Gattungen umfassenden Familien besitzen 2 (**Catenulidae**, **Microstomidae**) einen Pharynx simplex, die 3. (**Prorhynchidae**) einen Pharynx variabilis. Süßwasser- und Meerbewohner. **Catenula**, **Stenostomum** (Fig. 36) mit unpaarem Hauptstamm des Exkretionssystems. — Exkretionshauptkanäle paarig: **Microstomum lineare**, in der Haut Nesselkapseln führend. **Alaurina**, pelagisch, Vorderende unbewimpert, rüsselartig abgesetzt. Die bisher genannten Formen zeigen sämtlich auch ungeschlechtliche Fortpflanzung. Nur geschlechtlich vermehrt sich **Macrostomum**. — **Prorhynchus** fadenförmig, Darm mit schwachen Seitendivertikeln, männliche Geschlechtsöffnung am Vorderende mit dem Munde vereinigt. **P. putealis** bis 25 mm lang, Brunnenbewohner. **P. sphyrocephalus**, in feuchter Erde.

B. **Lecithophora**, 13 Familien mit ca. 45 Gattungen. Mit Pharynx doliiformis: **Genostomatidae**, Geschlechtsapparat in die Pharyngealtasche mündend, in Nebalien und marinen Muscheln schmarotzend. — **Graffillidae**, mit selbständiger Geschlechtsöffnung und paarigen Germarien oder Germovitellarien, durchweg marine Gattungen, davon 5 parasitisch. **Syndesmis echinorum** im Darm verschiedener Seeigel. **Paravortex cardii**, im Darm von Cardium edule. — **Dalyelliidae**, mit einem Germarium, meist Süßwasserformen; Gatt. **Dalyellia** (Vortex) mit zahlreichen, durch sehr mannigfaltige Chitinbewaffnung des Penis unterschiedenen Arten. **Phaenocora** (Derostoma) **unipuncata** mit Ductus genito-intestinalis. Marin **Anoplodium parasita** in der Leibeshöhle von Holothurien. — Mit Pharynx rosulatus: **Typhloplanidae**, artenreichste Familie, mit einer Ausnahme durchweg im süßen Wasser; man unterscheidet 3 Tribus, je nachdem ob die Geschlechtsöffnung im hintersten Körperdrittel (**Olisthanellini**) oder davor gelegen ist, und ob sich die Hoden ventral (**Typhloplanini**) oder dorsal (**Mesostomatini**) von den Vitellarien finden. **Olisthanella truncula**, Exkretionskanäle münden durch 2 seitliche Poren aus. **Typhloplana viridata**, Nierenkanäle in einen der Mundöffnung aufgesetzten Exkretionsbecher mündend, grün durch im Parenchym zerstreute Zoochlorellen. **Rhynchomesostoma rostratum**, Exkretionskanäle in das Genitalatrium mündend, Vorderende ein fernrohrartig einziehbarer Tastrüssel. **Mesostoma ehrenbergi**, Mündung der Exkretionskanäle wie bei **Typhloplana**, bis 15 mm lang und 8 mm breit, vollkommen duchsichtig. — Die **Polycystidae**, **Gyratricidae** und andere besitzen einen muskulösen, in eine am Vorderende sich öffnende Rüsselscheide eingeschlossenen Rüssel und werden daher als **Kalyptorhynchia** zusammengefaßt. **Polycystis** mit mehreren marinen Arten; im Süßwasser **P. goettei** mit großer, am Hinterende gelegener Exkretionsblase (Fig. 45). **Gyrator hermaphroditus** mit 2 ventralen Geschlechtsöffnungen und einer dorsalen Bursamündung, im Meer- und Süßwasser. — **Fecampiidae**, durch Parasitismus (in der Leibeshöhle mariner Crustaceen) hochgradig umgebildet.

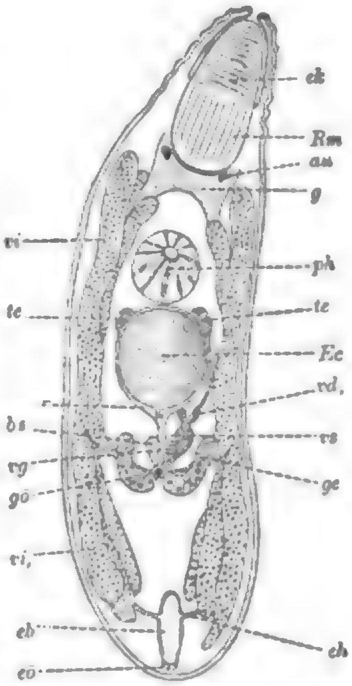


Fig. 45. **Polycystis goettei**, Ventralansicht, Darm weggelassen. au Augen; bs Bursa seminalis; eb Exkretionsblase; Ec Eikapsel; eh Exkretionshauptkanäle; ek Endkegel des Rüssels; eö Exkretionsöffnung; g Gehirn; ge Keimstock; gö Geschlechtsöffnung; ph Pharynx; Rm Muskelzapfen des Rüssels; te Hoden; u Uterus; vd Vas deferens; vg Vesicula granulosum; vi, vi_1 Lappen der Dotterstöcke; vs Vesicula seminalis. Nach **Bresslau**.

II. Sektion **Allöocöla**. Darm bald unregelmäßig sackförmig, bald seitliche Divertikel tragend, bisweilen durch den Pharynx durchbrochen. Parenchym dicht, nur mit spärlichen Lücken. Hintere Nervenstämme in 3 oder 4 Paaren vorhanden und durch ringförmig den Darm umgreifende Kommissuren verbunden (v. **Hofsten**, Festschr. f. Tullberg, 1907). Auch die Ausbildung der Protonephridien vielfach tricladenähnlich. 7 Familien mit 16 Gattungen, unter denen man 3 Abteilungen unterscheidet.

A. **Holocöla.** Darm ohne Seitentaschen, meist mit Pharynx variabilis. Ventral oder den Körper umgreifend häufig eine Wimperrinne. Mit Ovarien (**Halleziidae**), Germovitellarien (**Pseudostomidae**, Fig. 22 B) oder getrennten Keim- und Dotterstöcken (**Plagiostomidae**). **Pseudostomum** marin, mit 4 Augen, Geschlechtsöffnung mit dem Munde kombiniert, Bursa mit besonderer, dorsaler Mündung. — **Plagiostomum** mit 2 Paaren hinten jederseits zu einem Stamm vereinigter Exkretionskanäle, die durch zahlreiche dorsolaterale Poren ausmünden. Gonaden ohne Tunica propria. 25 Arten marin, in Seen der

Schweiz P. lemani. Vorticeros auriculatus, Vorderende mit 2 Tentakeln.

B. Crossocöla. Darm seitliche Divertikel tragend. Mit Pharynx plicatus und einer Statocyste. Germarien und Vitellarien getrennt, 2 Geschlechtsöffnungen. Exkretionskanäle jederseits in 3 Paaren mit zahlreichen, dorsalen und ventralen Mündungen. Monocelididae, langgestreckt, Meeresbewohner. — Unter den Otoplanidae Otomesostoma auditivum mit blattförmigem Körper im süßen Wasser. Bothriomolus, Seitendivertikel des Darms verzweigt, marin.

C. Cyclocöla. Darm durch den Pharynx plicatus in einen vorderen und hinteren Ast zerlegt, die durch 2 seitliche Kommissuren verbunden werden. Ohne Statocyste, mit Wimpergrübchen. Geschlechtsöffnung einfach. 2 Exkretionskanäle mit 2 median hintereinander gelegenen Poren. Bothrioplana, im süßen Wasser.

3. Unterordnung **Tricladida**. Körper meist gestreckt und abgeflacht, bisweilen von bedeutender Länge. Darm mit 3, meist wieder verzweigte Divertikel tragenden Schenkeln, von denen einer nach vorne, 2 nach hinten gerichtet sind. Mit Pharynx plicatus. Männliche und weibliche Genitalorgane stets durch eine gemeinsame Geschlechtsöffnung ausmündend.

Da ein natürliches System dieser in sich gut geschlossenen Gruppe noch aussteht, pflegt man sie nach ihrem Vorkommen im Meer, im süßen Wasser und auf dem Lande, in 3 Sektionen einzuteilen, die zwar habituell gut unterschieden, morphologisch aber schwer gegeneinander abzugrenzen sind.

I. Sektion **Tricladida maricola**, Meerestricladen. 5 Familien mit 10 Gattungen und ca. 30 Arten. Länge bis 15 mm.

Procerodidae, Vorderende mit mehr oder weniger tentakelartigen Tastlappen. Procerodes lobata (Gunda segmentata) durch oft sehr regelmäßige Anordnung der seitlichen Darmdivertikel ausgezeichnet. — Uteriporidae, mit akzessorischer Geschlechtsöffnung vor dem gemeinsamen Genitalatrium, durch die der sog. Uterus ausmündet. — Cercyridae: Cercyra hastata, Penis mit langer, chitinöser Spitze. Sabussowia dioica, einzige getrenntgeschlechtliche Triclade. — Bdellouridae, Hinterende mit Saugscheibe, Ektokommensalen auf Limulusarten, an deren Kiemenblätter auch die Eikapseln abgesetzt werden. Uterus doppelt, mit 2 besonderen Ausmündungen. Bdelloura candida (parasitica) auf Limulus polyphemus, ebenso Syncölidium pellucidum, dessen hintere Darmschenkel sich postgenital stets zu einem unpaaren Stamm vereinigen (ähnlich wie bei Bothrioplana unter den Allöocölen). — Micropharynx parasitica, auf Rochen.

II. Sektion **Tricladida paludicola**, Süßwassertricladen. Umfassen etwa 1 Dutzend zum Teil noch unzureichend bekannte Gattungen, die gewöhnlich zur Familie Planariidae vereinigt werden.

Formen mit 2 Augen: Bdellocephala punctata, größte deutsche Planarienart (ausgestreckt bis 4 cm). Dendrocölum, Penis mit ausstülpbarer Ringfalte (Flagellum); bekannteste Art das milchweiße D. lacteum, mehrere Arten auch im Brackwasser. Ohne Flagellum Gatt. Planaria mit zahlreichen Arten, die am Kopf bald Tentakel (P. alpina), bald bewegliche „Oehrchen" tragen (P. gonocephala) bald dieser Bildungen entbehren (P. lugubris, polychroa u. a.). P. alpina nahe verwandt die durch Polypharyngie ausgezeichnete P. montenegrina. Die gleiche Besonderheit zeigen P. gracilis und teratophila. — Formen mit zahlreichen Augen: in 2 Haufen am Vorderende Gatt. Sorocelis im Baikalsee, Polycladodes alba, Quellen bei Basel; in einer Reihe längs des Vorderendes Gatt. Polycelis. — Eine Anzahl interessanter, außer Sorocelis aber noch nicht genügend beschriebener Gattungen und Arten, die sich durch Ausbildung von Haken am Penis (Protocotylus), durch den Besitz einer bis vieler Sauggruben oder durch ihre Größe (bis 15 cm Länge und 6 cm Breite) auszeichnen, im Baikalsee.

III. Sektion **Tricladida terricola**, Landtricladen. 5 Familien mit ca. 375 Arten in 17 Gattungen. Häufig sehr langgestreckte Formen.

Fast die Hälfte aller Arten ist in der Familie Geoplanidae enthalten; die meisten davon in der Gatt. Geoplana, saugnapf- und tenakellos, das Vorderende von zahlreichen Augen umsäumt, langgestreckt mit breiter Kriechsohle, neotropisch und australisch. G. rufiventris über 20 cm lang. Polycladus gayi, Körper breit, blattähnlich, Chile. Bei der hauptsächlich australischen Gattung Artioposthia steht der Copulationsapparat mit bis zu 12 muskulösen Drüsenorganen in Verbindung. In der orientalischen und äthiopischen Region Gatt. Pelmatoplana, mit schmaler Kriechsohle. — Bei den vorwiegend indomalayischen Bipaliidae ist das Vorderende des langgestreckten Körpers zu einer queren, zahlreiche Randaugen tragenden Kopfplatte verbreitert, die Kriechsohle schmal. B. kewense, mit dünner, halbmondförmiger Kopfplatte, einzige kosmopolitische Art unter den Landplanarien, B. stimpsoni (Hongkong) über 60 cm, längstes Turbellar. B. rigaudi mit Adenodactylen. — Nur wenige Arten umfassen die Cotyloplanidae, mit 1 (Cotyloplana) oder 2 Saugnäpfen (Artiocotylus) an der Ventralseite, am Vorderende nur 2 Augen. — Ebenfalls zweiäugig, aber saugnapflos sind die Rhynchodemidae. Gatt. Rhynchodemus, mit rundlichem Querschnitt, schmaler Kriechsohle und stark verjüngtem Vorderende; europäisch: Rh. terrestris und bilineatus (auch in Deutschland frei beobachtet). Die kleine, nur 6 mm lange Microplana humicola in Böhmen. Dolichoplana feildeni (Java) mit wohl entwickelter Kriechsohle, bis 30 cm lang. Platt, mit breiter Kriechsohle, die vorwiegend australische Gattung Platydemus. Drehrund, bei gänzlich fehlender Kriechsohle Nematodemus lumbricoides (Ceylon).

4. Unterordnung **Polycladida**. Körper meist breit, blattförmig, bis 15 cm lang.

Digitized by Google

Mit Pharynx plicatus, der in einen allseitig verzweigte Darmäste entsendenden Zentralmagen führt. Meist 2 getrennte Geschlechtsöffnungen (die männliche vor der weiblichen). Ca. 300 marine Arten, die sich auf etwa 1 Dutzend Familien verteilen; meist litoral, wenige Formen pelagisch oder parasitisch. Nach dem Vorhandensein oder Fehlen von Saugnäpfen unterscheidet man 2 Sektionen:

I. Sektion Acotylea, ohne Saugnäpfe.

Planoceridae, mit Nackententakeln. Gatt. Planocera, Tentakel ziemlich weit vom Vorderende entfernt, mit zahlreichen Arten. P. inquilina, kommensal in der Nierenkammer von Schnecken. Gatt. Stylochus, Tentakel nahe dem Vorderende mit zahlreichen Arten, die sich teils direkt (S. neapolitanus), teils mit Goettescher Larve entwickeln. Akzessorische Blase (Receptaculum seminis) bei Woodworthia paarig, bei Tripylocelis mit besonderer Mündung. — Leptoplanidae ohne Tentakel. Leptoplana tremellaris und alcinoi (Fig. 21) mit zartem, langgestrecktem Körper, zu den häufigsten Neapler Polycladen gehörend; ebenso Discocoelis tigrina, derbe, breitovale Form, mit einfacher Geschlechtsöffnung. — Cryptocelidae. Cryptocelis alba, Augen sehr unansehnlich, Penis auffallend groß und muskulös, Spermatophoren bildend. Trigonoporus, akzessorische Blase mit besonderer Mündung hinter der weiblichen Geschlechtsöffnung. Aehnliche Verhältnisse auch bei Polyporus und Bergendalia; bei letzterer ist außerdem zwischen weiblicher Geschlechtsöffnung und Penis ein zweites penisähnliches Organ eingeschaltet. 2 bis 6fach ist der Penis bei Cryptocelides ausgebildet; bei Polyposthia umgeben ca. 20 männliche Begattungsorgane die weibliche Oeffnung, außerdem enthält das Hinterende zahlreiche penisähnliche Gebilde, die nicht mit den Samengängen in Verbindung stehen. Enterogonia mit Ductus genito-intestinalis.

II. Sektion Cotylea. Mit bauchständigem Saugnapf hinter der Geschlechtsöffnung.

Anonymus virilis, ohne Tentakel, Augen am ganzen Körperrande, mit bis zu 30 Penes in 2 seitlichen Längsreihen. — Pseudoceridae mit faltenförmigen Nackententakeln, Uteringänge mit zahlreichen, blasenförmigen Anhängen (Uterusdrüsen); auffallend gefärbte, meist große Formen, Entwickelung mit Müllerscher Larve. Pseudoceros mit einfachem oder doppeltem Penis (P. maximus mit 8 cm Länge die größte Neapler Polyclade). Thysanozoon brocchii, Rücken mit Zotten, in die die Darmäste hineinragen, Penis doppelt; hier wie wahrscheinlich bei allen Polycladen mit mehr als einem männlichen Begattungsorgan erfolgt die Begattung durch „hypodermic impregnation" (s. o. S. 967). Yungia aurantiaca, prachtvoll orangerot, ohne Rückenzotten, aber Darmäste durch dorsale Poren ausmündend, Penis einfach. Laidlawia, mit dorsaler Bursamündung. — Euryleptidae, zarte Formen, mit einfachem, männlichem Begattungsapparat. Cycloporus papillosus, Darmäste durch feine Poren längs des ganzen Körperrandes ausmündend. Oligocladus, Mundöffnung präcerebral verschoben. Eurylepta cornuta mit langen Tentakeln. — Prosthiostomidae, ohne Tentakel, Mund- und Geschlechtsöffnung dicht hinter dem Gehirn. P. siphunculus, weit verbreitete Art (vgl. Meixner, Zeitschr. wiss. Zool. **88**, 1907).

2. Ordnung Trematodes, Saugwürmer. Ekto- oder endoparasitische Plattwürmer, geschlechtsreif stets ohne Wimperkleid, Larven häufig bewimpert. Darm afterlos, in der Regel gegabelt. Meist Zwitter. Entwickelung direkt, mit Metamorphose oder Generationswechsel.

Der in neuerer Zeit vielfach üblichen Einteilung der Trematoden in Heterocotylea, Aspidocotylea und Malacocotylea ist die alte Anordnung in Monogenea (= Heterocotylea) und Digenea (= Aspidocotylea + Malacocotylea) vorzuziehen, da die Sonderstellung der Aspidocotylea, die vornehmlich mit ihrer direkten Entwickelung begründet wurde, morphologisch nicht gerechtfertigt erscheint. Dabei sind aber von den Monogenea die früher nur als Familie derselben betrachteten, etwa ein Dutzend Arten umfassenden Temnocephaloidea abzutrennen und in eine den Monogenea und Digenea gleichwertige Unterordnung zu stellen. Die Mono- und Digenea bilden alsdann — wenn auch ihre Namen auf Unterschiede in der Entwickelungsweise hindeutet, die keineswegs durchgreifend sind — anatomisch und biologisch wohl charakterisierte Formenkreise. Ueber die viele Hunderte betragende Zahl der in ihnen enthaltenen Arten liegen neuere Schätzungen nicht vor.

1. Unterordnung Temnocephaloidea (Dactyloda). Körper vorn oder seitlich mit 2 bis 12 fingerförmigen Tentakeln (Fig. 46), hinten mit einem kräftigen Saugnapf; bisweilen ein zweiter vor dem Mund. Excretionsöffnungen paarig, vorn und dorsal gelegen, zum Teil in Verbindung mit kontraktilen Endblasen. Geschlechtsöffnung meist in der Nähe des Hinterendes für den männlichen und weiblichen Apparat gemeinsam. Entwickelung direkt ohne Wirtswechsel.

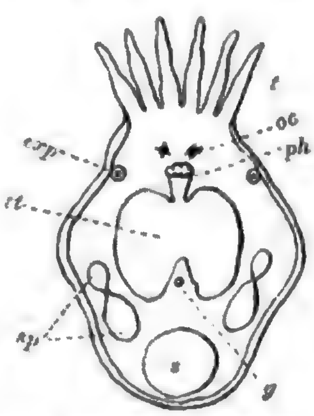


Fig. 46. Temnocephala novaezelandiae. exp Exkretionsporus; g Geschlechtsöffnung; oc Augen; ph Pharynx; s Saugnapf; sp Hoden; st Darm; t Tentakel. Nach Wacke.

Je nachdem ob die Tentakel am Vorderende oder seitlich stehen, und ob ein oder zwei Saugnäpfe vorhanden sind, unterscheidet man 2 Fa-

milien: Temnocephalidae und Actinodactylellidae. Verbreitetste Gattung Temnocephala, in Australien, Neuseeland (Fig. 46), Celebes, Madagaskar, sowie Zentral- und Südamerika. Eine Art europäisch (Scutariella didactyla, Montenegro), die übrigen Gatt. australisch. Ektokommensalen auf Crustaceen, seltener auf Schildkröten des süßen Wassers oder in der Lungenhöhle von Schnecken. — Manche Autoren erblicken in den Temnocephalen wegen der Beschaffenheit ihrer Haut (s. S. 953) eine besondere, zwischen die Rhabdocöliden und Trematoden zu stellende Ordnung.

2. Unterordnung Monogenea. Meist Ektoparasiten von geringer Größe, mit starken Haft- oder Klammerorganen, die, wenn am Vorderende gelegen, stets paarig ausgebildet sind. Excretionsöffnungen in der Regel paarig auf der Rückenfläche (Fig. 14), selten getrennt oder vereinigt am Hinterende. Häufig getrennte Kanäle für Begattung (Vagina bezw. Ductus vaginalis) und Ausleitung der Eier (Uterus, stets sehr kurz). Entwickelung direkt, gelegentlich mit Metamorphose verbunden, stets ohne Wirtswechsel. Man unterscheidet 6—8 Familien.

Die Tristomidae tragen vorn 2 mit der Mundhöhle nicht in Verbindung stehende Saugnäpfe oder -gruben, hinten einen großen Saugnapf, der häufig mit Haken ausgestattet ist; zahlreiche Arten an den Kiemen mariner Fische. Tristomum molae an Orthagoriscus mola, Epibdella hippoglossi am Heilbutt, Nitzschia elegans am Stor. — Monocotylidae, ohne vordere Saugnäpfe. Calicotyle kroyeri (Fig. 24) in der Kloake der Männchen verschiedener Rochenarten. — Udonellidae, an Crustaceen, die ihrerseits an den Kiemen von Seefischen schmarotzen. Udonella caligorum. — Octocotylidae, Saugnäpfe des Vorderendes öffnen sich in die Mundhöhle, hintere Haftscheibe mit 8 Saugklappen. Diplozoon paradoxum auf den Kiemen von Cypriniden, erst geschlechtsreif, nachdem 2 Einzeltiere (Diporpa) miteinander verwachsen sind. — Microcotylidae, Hinterende verbreitert mit zahlreichen kleinen Saugklappen (50 bis 70 bei Axine). — Polystomidae, ohne Mundsaugnäpfe, am Hinterende meist 6 kräftige Saugnäpfe und außerdem Chitinhaken. Polystomum integerrimum, als Larven an den Kiemen von Kaulquappen, geschlechtsreif in der Harnblase des Froschs. — Gyrodactylidae, ohne Saugnäpfe, statt dessen vorn 2 bis 4 kontraktile Kopfzipfel, hinten eine Haftscheibe mit mehr oder weniger kompliziertem Hakenapparat. Gyrodactylus elegans (Fig. 37), mit hinterer, unpaarer Excretionsöffnung, an den Kiemen und der Haut verschiedener Süßwasserfische, namentlich des Karpfens.

3. Unterordnung Digenea. Durchweg Endoparasiten. Mit einem unpaaren, in der Regel als „Mundsaugnapf" ausgebildete Haftapparat am Vorderende; weitere Haftorgane häufig, aber nicht immer vorhanden, meist in Gestalt eines ventralen „Bauchsaugnapfs" (Fig. 19). Chitinhaken niemals ausgebildet. Excretionsöffnung unpaar, in der Regel am Hinterende. Als Begattungskanal dient der meist mit der männlichen Geschlechtsöffnung in ein gemeinsames Genitalatrium einmündende Endabschnittt des Uterus.

Daß die Aspidobothriiden (als Aspidocotylea) vielfach von den Digenea abgesondert werden, wurde schon erwähnt. Unter den verbleibenden Formen hat man sodann weiter 2 Abteilungen unterschieden: die nur die Holostomiden umfassenden Metastatica, die sich ohne Generationswechsel, jedoch unter Bildung zweier Larvenformen und unter Wirtswechsel entwickeln, und die alle übrigen Formen in sich schließenden Digenea s. str. mit ein- bis zweimaligem Generations- und Wirtswechsel. Gegen diese Trennung spricht indessen, daß zwischen den Holostomiden und den typischen Digenea keine fundamentalen Organisationsunterschiede bestehen, und daß auch bei den letzteren die Entwicklung stark vereinfacht werden kann (s. S. 977). Morphologisch besser begründet erscheint der Versuch, die Digenea nach der Lage des Mundes einzuteilen; man erhält dabei 2 Sektionen, die möglicherweise natürlichen Gruppen entsprechen (Odhner, Fauna arctica 4, 1905).

I. Sektion Gasterostomata. Mundöffnung in der Bauchmitte, Haftapparat vor derselben, am Vorderende.

Gasterostomidae, mit einfachem, an die Rhabdocoelen erinnerndem Darmsack. Geschlechtsorgane in der hinteren Körperhälfte. Entwickelung mit Generations- und Wirtswechsel. Gasterostomum fimbriatum, Haftapparat des Vorderendes als Saugnapf ausgebildet, von 6 kleinen Papillen umgeben, im Darm von Raubfischen (Barsch, Hecht usw.); Cercarie mit 2 völlig getrennten Schwanzanhängen, die bei der Bewegung aufwärts getragen werden (als Bucephalus polymorphus bezeichnet). Prosorhynchus squamatus, vorderer Haftapparat rostellumartig ausgebildet.

II. Sektion Prosostomata. Mundöffnung terminal oder subterminal, stets ein am vorderen Körperende gelegenes Haftorgan durchbohrend (Fig. 11). Weitere Haftorgane, wenn vorhanden, dahinter. Zahlreiche Familien und isolierte Gattungen, die in 5 Reihen angeordnet werden können.

A. Aspidobothriidae. Haftorgan des Vorderendes nur eine schwache, trichterförmige Hauteinstülpung, kein wirklicher Saugnapf. Ventral zahlreiche Sauggruben, meist zu einer Haftscheibe zusammengeschlossen. Darm einfach sackförmig. Entwickelung, soweit bekannt, direkt. Aspidogaster conchicola (Fig. 3) in Teichmuscheln. verwandte Arten in Fischen und Schnecken; Platyaspis im Magen mariner Schildkröten.

Alle übrigen Formen mit gabelig geteiltem Darm. Haftorgan des Vorderendes ein Mundsaugnapf. Entwickelung mit Generations- und Wirtswechsel (ausgenommen Holostomata).

B. Amphistomata. Außer dem pharynxähnlichen Mundsaugnapf ein an oder dicht vor

Digitized by Google

dem Hinterende gelegener Bauchsaugnapf. Im Körper ein eigenartiges, blindgeschlossenes Kanalsystem (sog. Lymphgefäßsystem). Besonders in Säugern, aber auch in anderen Wirbeltieren. Amphistomum (Diplodiscus) subclavatum im Enddarm des Frosches. Gastrodiscus hominis (Indien) und Cladorchis watsoni (Westafrika) im Menschen.

C. Distomata. Der Bauchsaugnapf stets bauchständig, meist dem Vorderende genähert. Weitere Haftorgane (außer dem Mundsaugnapf) nicht vorhanden. Die zahlreichen, weitaus die Mehrzahl aller Digenea bildenden, in allen Klassen der Wirbeltiere lebenden Arten dieser Gruppe wurden früher sämtlich in einem Genus (Distomum) untergebracht, das jetzt in zahlreiche Unterfamilien und Gattungen gespalten ist, die aber eine natürliche Anordnung noch nicht zulassen (vgl. besonders die Arbeiten von Braun, Looss und Odhner in Zool. Jahrb. Syst., **12**, **14**, **16**, **26** und Zool. Anz. **37**, **38**).

Keimstock vor den Hoden: Fasciolinae, große Formen mit blattartigem Körper, stark bestachelter oder beschuppter Haut, Darmschenkel mit Seitenzweigen, Geschlechtsdrüsen verästelt. Fasciola hepatica, großer Leberegel (3 cm und darüber), Vorderkörper als „Kopfzapfen" vom breiten Hinterkörper gesondert, in der Leber herbivorer Säugetiere und des Menschen, ebenso F. gigantea (bis 7,5 cm). Fasciolopsis buski ohne Kopfzapfen, im Schwein und Menschen (Asien). — Zahlreiche kleine Formen aus Carnivoren sind gleichzeitig Parasiten des Menschen: Paragonimus westermanni, Lungenegel, Darmschenkel mit kleinen Ausbuchtungen, Gonaden verästelt, meist paarweise in oberflächlichen Cysten der Lunge. Clonorchis sinensis und endemicus, Darmschenkel und Ovar unverästelt, Hoden verzweigt, in Leber- und Gallenblase. Ebenda, Gonaden gelappt oder rundlich Opistorchis felineus mit glatter, Metorchis truncatus mit dicht bestachelter Haut. Heterophyes heterophyes, Genitalporus seitlich hinter dem Bauchsaugnapf. — Im Darm des Frosches Opisthioglyphe ranae (Dist. endolobum) und rastellus. — Im Magen des Hechtes und anderer Raubfische Azygia lucii (Dist. tereticolle). — Keimstock hinter den Hoden: Dicrocölium lanceatum (lanceolatum), Lanzettegel, kleiner Leberegel des Schafes und anderer Pflanzenfresser, auch im Menschen (bis 1 cm, Fig. 25). — Keimstock zwischen den beiden Hoden: Urogonimus macrostomus mit stark abgekürzter Entwickelung (s. S. 977). — Echinostomidae, Mundsaugnapf von einer kragenartigen, 1 bis 2 Reihen kräftiger Stacheln tragenden Hautfalte umgeben; vielfach Parasiten von Vögeln (Fig. 47). Bei einzelnen Formen

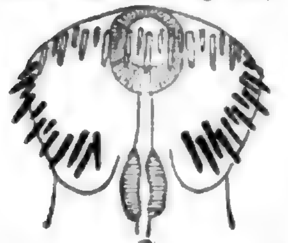


Fig. 47. Echinoparyphium baculus, Vorderende mit Kopfkragen. Aus Lühe (in Brauers Süßwasserfauna Deutschlands).

(Chaunocephalus, Balfouria, in Storcharten), münden die Darmschenkel in die am Hinterende des Wurms gelegene Excretionsblase. Im Menschen Echinostomum ilocanum. In südamerikanischen Beuteltieren die mit 2 hakentragenden Rüsseln versehene Gatt. Rhopalias. — Parasiten von Fischen die Zoogonidae, mit allmählich fortschreitender Reduktion der Dotterstöcke bei den verschiedenen Arten. Zoogonus mirus im Enddarm des Lippfisches. — Gleichfalls im Darm mariner Fische die Steringophoridae; einzelne Arten (Haplocladus) nur mit einem Darmschenkel, der in die Exkretionsblase einmündet. — Im Magen von Fischen die Hemiuridae, mit rundlichem Körper, dessen Hinterende häufig zu einem fernrohrartig einziehbaren Schwanz umgebildet ist. Hemiurus appendiculatus im Maifisch. — In Cysten der Körperoberfläche oder in Mund- und Kiemenhöhle von Meerfischen meist paarweise die Didymozoonidae, deren Arten eine Entwickelungsreihe bilden, die vom Hermaphroditismus zum Gonochorismus führt. Nematobothrium molae, fadenförmig, längste Trematodenart (bis 1,50 m). — Getrennt geschlechtlich die Schistosomidae im Blut von Warmblütern; im Menschen Schistosomum (Bilharzia) haematobium (Fig. 26), mansoni und japonicum, Männchen mit Canalis gynaecophorus; in Vögeln Gigantobilharzia acotylea mit rückgebildeten Saugnäpfen. — Gänzlich saugnapflos eine Anzahl merkwürdig umgewandelter Formen im Blut von Fischen: in der Scholle Aporocotyle simplex, in Cypriniden die erst für ein Turbellar, dann für einen Bandwurm gehaltene Sanguinicola armata (Odhner, Zool. Anz. **38**, 1911). — Bei dem im Flußkrebs lebenden Distomum isostomum (Fig. 19) ist der Geschlechtsapparat noch unbekannt.

D. Monostomata. Nur ein Mundsaugnapf vorhanden, Bauchsaugnapf fehlt. Eine Anzahl verschiedenartiger Familien und zum Teil sehr isoliert stehender Gattungen, die möglicherweise gar nichts miteinander gemein haben, sondern polyphyletisch aus Amphistomiden und verschiedenen Distomiden durch Rückbildung des ventralen Saugnapfs hervorgegangen sind. Bekannteste Familie Monostomidae in den Luftwegen von Vögeln, Darmschenkel hinten bogenförmig miteinander verbunden.

E. Holostomata. Besitzen außer Mund- und Bauchsaugnapf noch einen hinter letzterem gelegenen, sehr verschiedenartig gestalteten, mit Drüsen verbundenen Haftapparat. Der Körper ist vielfach in einen die Haftapparate tragenden Vorder- und einen die Genitalapparate enthaltenden Hinterkörper zerlegt. Als männliches Begattungsorgan statt des Cirrusbeutels meist eine in der Nähe des Hinterendes gelegene, vorstülpbare, muskulöse Bursa copulatrix mit einem papillenartigen Genitalkegel. Entwickelung mit Wirts-, aber soweit bekannt, ohne Generationswechsel, da die Wimperlarve sich direkt in eine durch Metamorphose zum geschlechtsreifen Tier werdende, encystierte Larve (Tetracotyle) verwandelt. Holostomidae, im Darm von Krokodilen, Vögeln und einzelnen Säugetieren. Holostomum (Strigea) variegatum in Darm und Bursa Fabricii von Möven und anderen Wasservögeln.

3. Ordnung Cestodes, Bandwürmer. Endoparasitische, meist eine Gliederkette bildende Plattwürmer ohne Wimperkleid,

Digitized by Google

Mund und Darm. Fast durchweg Zwitter. Entwickelung mit Metamorphose.

Seit langem pflegt man die Bandwürmer in 2 Unterordnungen Cestodaria und Cestodes s. str. einzuteilen, die man früher so abgrenzte, daß in der ersteren die Formen mit ungegliedertem Körper (Cestodes monozoa), in der letzteren alle gegliederten Arten (C. mero- oder polyzoa) zusammengefaßt wurden. Diese Einteilung ist jedoch in neuerer Zeit dadurch modifiziert worden, daß man die beiden monozootischen Gattungen Archigetes und Caryophyllaeus als näher verwandt mit den Dibothriocephaloidea erkannt und demgemäß unter die Cestodes s. str. eingereiht hat. Die

1. Unterordnung Cestodaria enthält demgemäß nur noch di. beiden Gattungen Amphilina und Gyrocotyle, die sich von den übrigen Cestoden durch das Fehlen einer dem Scolex vergleichbaren Bildung, durch eigenartige Anordnung des Genitalapparates, die mit anderen Verhältnissen der Organisation an die Trematoden erinnert, und durch die Ausstattung der als Lycophora bezeichneten Larve mit 5 statt 3 Hakenpaaren unterscheiden.

Manche Autoren fassen die Cestodaria als eine den Trematoden und Cestoden gleichwertige Ordnung auf, andere als geschlechtsreif gewordene Cestodenlarven, was den primitiven Charakter der Gruppe nicht beeinträchtigen würde. Amphilina foliacea in der Leibeshöhle der Sterlets, A. liguloidea in brasilianischen Fischen; Gyrocotyle urna und 3 andere Arten in der Spiralklappe von Chimäriden.

2. Unterordnung Cestodes s. str. Mit Scolex. Larve 3 Hakenpaare tragend. (Oncosphaera)

Die Zahl der Arten ist in neuerer Zeit außerordentlich gewachsen, so daß die in Leunis-Ludwigs Synopsis (1886) enthaltene Schätzung auf ca. 500 Species heute weit überholt ist. Allein unter den Cyclophyllidea wurden vor 4 Jahren 495 in Vögeln schmarotzende Arten gezählt (Fuhrmann, Zool. Jahrb. Suppl. 10, 1909); dabei gehören dieser Sektion noch zahlreiche Parasiten in anderen Wirbeltierklassen an, auch sind seither schon wieder über 50 neue Arten von Vogeltänien beschrieben worden. Die Zahl der Gattungen übersteigt 150; sie werden gewöhnlich auf 5 Sektionen verteilt.

I. Sektion Pseudophyllidea. Polyzootisch, seltener monozootisch. Scolex in der Regel unbewaffnet, meist mit 2 flächenständigen Sauggruben. Uterus stets mit äußerer Oeffnung (Fig. 29 A). Dotterstock aus zahlreichen Follikeln zusammengesetzt. 4 Familien mit mehreren Unterfamilien.

Caryophyllaeidae. Ungegliedert, Genitalorgane nur in Einzahl vorhanden. Archigetes appendiculatus, mit 2 schwachen Sauggruben und einem die Oncosphaerahäkchen tragenden dauernd erhalten bleibenden Schwanzanhang, geschlechtsreif in der Leibeshöhle von Oligochaeten (Tubifex, Limnodrilus). Caryophyllaeus laticeps (mutabilis), Nelkenwurm, mit krausenartig gefaltetem Scolexvorderende, das vermöge seiner Kontraktilität als Ganzes, ohne Ausbildung besonderer Sauggruben, einen Haftapparat darstellt; geschlechtsreif im Darm von Cypriniden; Cysticercoid mit kurzem Schwanzanhang in der Leibeshöhle von Tubificiden. — Dibothriocephaloidea (Diphyllobothriidae). In der niedersten Gattung (Ligula) dieser Familie fehlt noch die äußere Gliederung des Körpers oder entspricht, falls ausgebildet, nicht der des stets in Vielzahl vorhandenen Genitalapparats. L. intestinalis (simplicissima), Riemenwurm, Larve in der Leibeshöhle vieler Süßwasserfische (bis 75 cm lang werdend!), geschlechtsreif schon 1 bis 2 Tage nach Aufnahme in den Darm eines Wasservogels. Alle übrigen Formen vollkommen gegliedert. Dibothriocephalus latus, breiter Bandwurm des Menschen, aber auch in Hund und Katze vorkommend, Geschlechtsapparat in jeder Proglottis einfach, alle 3 Genitalöffnungen (für Cirrus, Vagina, Uterus) flächenständig auf der Ventralseite; Finne (Plerocercoid) subperitoneal und in der Muskulatur verschiedener Fische (besonders Hecht und Quappe). Diplogonoporus, Genitalapparat ähnlich wie bei Dibothriocephalus, aber in jeder Proglottis verdoppelt; D. grandis (Japan), D. brauni (Rumänien) im Menschen. Cyathocephalus truncatus, Scolex mit einer einzigen scheitelständigen Sauggrube; in den Appendices pyloricae von Salmoniden, Larve in Gammarus pulex. Triaenophorus nodulosus, Scolex mit 4 dreispitzigen Haken, im Darm des Hechts und anderer Raubfische, Finne in kleineren Fischen. — Zwei weitere Familien: Ptychobothriidae mit dorsaler oder randständiger Mündung von Cirrus und Vagina, und Acanthophallidae mit dorsoventraler Differenzierung der Proglottiden (Rücken- konvex, Bauchfläche konkav), sind ebenfalls Fischparasiten.

II. Sektion Tetraphyllidea. Gliederung stets deutlich. Uterus blindgeschlossen, Oeffnung von Vagina und Cirrus gewöhnlich randständig. Dotterstock follikulär.

Scolex mit 4 Saugorganen in Gestalt kleiner Saugnäpfe (Ichthyotaeniidae, in Süßwasserfischen, Amphibien und Schlangen) oder sehr beweglicher, bald gestielter, bald ungestielter Bothridien, die neben akzessorischen Saugnäpfen und Areolen Haken enthalten (Onchobothriidae, Fig. 4 A) oder unbewaffnet sind (Phyllobothriidae, Fig. 4 B). Die Phyllobothriidae leben geschlechtsreif im Spiraldarm von Selachiern, ebenso die Onchobothriidae. Die als Scolex polymorphus bezeichnete Finne von Calliobothrium filicolle findet sich in zahlreichen Fischen, wird aber auch frei im Meer angetroffen.

III. Sektion Trypanorhyncha (Rhynchobothriidae). Scolex mit 2 oder 4 Bothridien und 4 retraktilen, hakenbewaff-

Digitized by Google

neten Rüsseln, meist durch einen halsartigen „Kopfstiel" mit der Gliederkette verbunden. Genitalorgane ähnlich wie bei den Tetraphyllidea. 2 Familien.

Tetrarhynchidae. Die geschlechtsreifen Formen im Spiraldarm von Selachiern, noch wenig bekannt. Die gewöhnlich mit dem Namen Tetrarhynchus (Fig. 6) bezeichneten Finnen in den verschiedensten Meerestieren, bisweilen auch in Süßwasserfischen. — Coenomorphidae, Uterus mit ventraler Ausmündung. Coenomorphus grossus.

IV. Sektion Diphyllidea. Scolex mit Haken tragendem Kopfstiel, 2 Bothridien und einem Rostellum. Geschlechtsorgane wie bei den Tetraphyllidea, doch mit flächenständigem Genitalporus (Fig. 29 B). In marinen Fischen.

Echinobothrium affine, im Spiraldarm von Rochen.

V. Sektion Cyclophyllidea. Scolex mit 4 Saugnäpfen, zwischen denen ein scheitelständiges, häufig hakenbewaffnetes Rostellum vorhanden sein kann; bisweilen auch in den Saugnäpfen kleine Haken. Aeußere Gliederung fast immer deutlich. Uterus stets blind geschlossen. Dotterstock unpaar, vereinzelt rückgebildet.

Die früher meist als „Taenien" zusammengefaßten Cyclophyllidea bilden die artenreichste Gruppe der Cestoden. Man unterscheidet rund 70 Gattungen, die in 12 Familien mit zahlreichen Unterfamilien eingeteilt werden (Lühe). Etwa 55 Gattungen leben in Vögeln, ca. 20 in Säugern (zum Teil gleichzeitig in Vögeln), 2 Gattungen in Reptilien, eine in Amphibien. Die Parasiten sind vielfach für ihre Wirte spezifisch.

Von den Familien seien genannt: Nematotaeniidae, Scolex unbewaffnet und ohne Rostellum, Gliederung erst am Hinterende des Bandwurms deutlich. Nematotaenia dispar im Darm des Frosches und anderer Amphibien. — Mesocestoididae, Scolex unbewaffnet und ohne Rostellum, Genitalöffnungen flächenständig, in Säugetieren und Vögeln. — Anoplocephalidae, Scolex unbewaffnet, Genitalpori randständig. Linstowia echidnae im Ameisenigel, L. semoni im Beuteldachs, L. brasiliensis in der Beutelratte Peramys tristriata. Stilesia und Avitellina, ohne Dotterstock und Schalendrüsen, weshalb die Eier ihr Nährmaterial von Zellen des Keimstocks und der Uteruswand erhalten; in herbivoren Säugetieren. Zahlreiche Gattungen in Vögeln. — Davaineidae, Scolex mit Rostellum, das in 2 Kränzen sehr zahlreiche (meist 150 bis 300) Haken trägt; auch Saugnapfränder mit kleineren Häkchen. Gatt. Davainea, Eier nach Zerfall des Uterus in Parenchymkapseln; in Vögeln und Säugetieren. D. madagascariensis im Menschen. Gatt. Idiogenes, Uterus mit Paruterinorgan, nur in Vögeln. — Dipylidiidae, Rostellum mit 3 und mehr Hakenkränzen, Saugnäpfe unbewaffnet, in Säugetieren, Vögeln und Reptilien. Dipylidium caninum (Taenia cucumerina), Gurkenkernbandwurm mit doppeltem Genitalapparat in jeder Proglottis (Fig. 28), häufig in Hunden und Katzen, aber auch im Menschen; das zugehörige Cysticercoid in der Hundelaus (Trichodectes canis), auch im Hunde- und Menschenfloh. — Hymenolepididae (Fig. 27), Rostellum meist mit einfachem Hakenkranz, nur 1 bis 4 Hoden in jeder Proglottis; in Vögeln und Säugetieren; die Rattenbandwürmer Hymenolepis diminuta (Fig. 48)

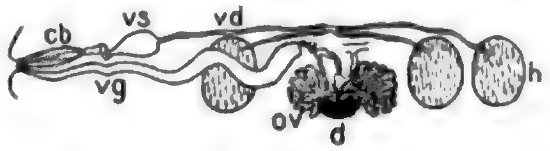


Fig. 48. Schema der Geschlechtsorgane von Hymenolepis diminuta (nach Querschnitten durch eine Proglottis). c Cirrusbeutel; d Dotterstock; h Hoden; ov Keimstock; vd Vas deferens; vg Vagina; vs Samenblase. Nach Lühe.

und murina (letztere Art, falls mit H. nana identisch) auch im Menschen. — Taeniidae, meist große Arten; Rostellum in der Regel mit 2 Hakenkränzen, bisweilen rudimentär. Einige Vertreter in Vögeln, zahlreiche im Genus Taenia zusammengefaßte Arten in Raubtieren, einzelne auch im Menschen. T. saginata (mediocanellata) hakenlos, Saugnäpfe sehr kräftig, auch das Rostellum saugnapfähnlich umgebildet, Uterus mit zahlreichen (20 bis 35) Seitenästen; häufigster Bandwurm des Menschen; Finne (Cysticercus bovis) im Rind. Bewaffnete Formen: T. solium, Hakenbandwurm des Menschen, am Rostellum zwei Kränze von je 11 bis 16 Haken, Uterus mit spärlichen (7 bis 10) Seitenzweigen; Finne (C. cellulosae) im Schwein und einigen anderen Säugern (bisweilen auch im Menschen). T. crassicollis, Katzenbandwurm, der zugehörige C. fasciolaris in Muriden. T. crassiceps im Fuchs, ihr C. longicollis im Maulwurf. Geschlechtsreif im Hund: T. marginata, mit C. tenuicollis. T. coenurus, mit der als Coenurus cerebralis, Quese, Drehwurm, bezeichneten Finne, die im Gehirn von Schafen und Rindern, seltener auch im Pferde lebt. T. echinococcus, nur wenige Millimeter lang, oft massenhaft im Hundedarm; die Finne (Echinococcus polymorphus, Hülsenwurm) in Lunge, Leber und anderen Organen vieler Säugetiere, besonders im Schlachtvieh, auch im Menschen. — Die folgenden Familien enthalten nur Vogelparasiten: Acoleidae, weibliche Genitalöffnung fehlt, Vagina rückgebildet, männliche Geschlechtsöffnung randständig. Bei Progynotaenia zeigen die vorderen Proglottiden nur die weiblichen, die hintersten die männlichen Genitaldrüsen und den Uterus entwickelt. Dioicocestus (D. paronai im Storch) getrennt geschlechtlich. — Amabiliidae, Seitenteile der Proglottiden mit blatt- oder fingerförmigen Anhängen; Vagina fehlt, doch kann statt dessen ein akzessorischer weiblicher Geschlechtskanal ausgebildet sein; in Wasservögeln. — Fimbriariidae, Scolex hinfällig, durch einen großen Pseudoscolex ersetzt, in Entenarten.

4. Ordnung Nemertini, Schnurwürmer. Meist freilebende, ungegliederte Plattwürmer mit bewimpertem Körperepithel und einfachem, durch einen After am hinteren Körperende ausmündendem Darm. Dorsal

Digitized by Google

vom Darm ein Rüsselapparat, im Parenchym bezw. Hautmuskelschlauch eingebettet ein Blutgefäßsystem. Meist getrennt geschlechtlich. Entwickelung direkt oder mit Metamorphose. Etwa 500 Arten.

Die Nemertinen werden zurzeit nach Bürgers Vorschlag gewöhnlich in 4 Unterordnungen eingeteilt, von denen 3 (Proto-, Meso-, Heteronemertini) die unbewaffneten Formen (Anopla) umfassen, während in der 4. die bewaffneten Metanemertinen (Enopla, Hoplonemertini) enthalten sind. Von diesen 4 Unterordnungen sind die Meta- und Heteronemertinen zweifellos gut charakterisiert; dagegen hat sich durch genauere Untersuchung der früher auf die Proto- und Mesonemertinen verteilten Formen und durch Auffindung neuer, bald in diesem, bald in jenem Merkmal eine Mittelstellung einnehmender Gattungen gezeigt, daß sie zweckmäßiger in einer Unterordnung (Palaeonemertini) vereinigt werden.

1. Unterordnung Palaeonemertini (Proto- + Mesonemertini). Rüssel ohne Stiletts. Mundöffnung hinter dem Gehirn. Der Hautmuskelschlauch besteht aus einer äußeren Ring- und einer inneren Längsmuskelschicht, wozu in der Regel eine streckenweise dazwischen sich einschiebende Diagonalfaserschicht, bisweilen (einzelne Carinomaarten) auch eine äußere Längsmuskelschicht kommt. Gehirn und Seitenstämme bald im Epithel, bald zwischen dieses und den Hautmuskelschlauch, bald in letzteren selbst verlagert. Cerebralorgane vorhanden oder fehlend. Durchweg marin.

Aus dieser primitivsten Unterordnung sind zurzeit 10 Gattungen bekannt, die in mancherlei Beziehungen divergieren und einerseits an die Hetero-, andererseits an die Metanemertini Anknüpfungspunkte darbieten. Eine sichere Gruppierung derselben in Familien ist einstweilen noch nicht möglich, wenn man nicht für die Mehrzahl der Gattungen, die zum Teil nur in einer Art bekannt sind, eigene Familien aufstellen will. Als ursprünglichste Art gilt Procarinina atavia, mit epithelialer Lagerung des Nervensystems, einfachen Cerebralorganen und seitentaschenlosem Darm. Von ihr unterscheidet sich Carinina durch den Besitz von Darmdivertikeln, die an 30 Arten zählende Gattung Carinella (Tubulanus) durch die Verlagerung von Gehirn- und Seitennerven unter das Epithel. Cerebralorgane fehlen bei Callinera, Carinesta und Carinomella. Ein dorsales Blutgefäß, das den bisher genannten Arten abgeht, besitzt Hubrechtia, deren kugelige Cerebralorgane in die Seitengefäße hineinragen. Aehnlich verhalten sich die Cerebralorgane bei Hubrechtella. Den beiden Gattungen Carinoma und Cephalothrix, die Bürger zu den Mesonemertini zusammenstellte, fehlen die Cerebralorgane und das Rückengefäß; ihr Nervensystem ist in die Hautmuskulatur verlagert (Fig. 7). Doch ist diese Verlagerung bei Carinoma noch unvollständig, auch wird sie bereits bei Carinella annulata und Carinomella (Coe, Bull. Mus. Comp., Harvard Coll. 47. 1905) vorbereitet. Alle Arten freilebend, nur Cephalothrix galateae endoparasitisch in decapoden Krebsen.

2. Unterordnung Metanemertini. Rüssel mit Stiletts bewaffnet. Mundöffnung vor dem Gehirn oder mit der des Rhynchodäums verbunden. Darm meist mit einem vorderen Blinddarm (Fig. 12). Hautmuskelschlauch aus äußerer Ring- und innerer Längsfaserschicht bestehend, dazwischen meist eine Diagonalfaserschicht. Hirn- und Nervenstämme nach innen vom Hautmuskelschlauch im Parenchym. Vorwiegend marin, einzelne Arten auch auf dem Lande und im süßen Wasser. Die Metanemertini umfassen mehr als die Hälfte aller Nemertinen; man unterscheidet 9 Familien und einige 20 Gattungen, die nach dem Verhalten des Rhynchocöloms in 2 Sektionen eingeteilt werden.

I. Sektion Prorhynchocoelomia. Formen mit sehr langem, dünnem Körper, die sich gerne zusammenknäueln, niemals schwimmen. Rüssel viel kürzer als der Körper. Rhynchocölom niemals in das hintere Körperdrittel hineinreichend, meist kürzer als die halbe Körperlänge.

Emplectonematidae (Eunemertidae) meist mit zahlreichen Augen. Emplectonema giganteum, bis 3,5 m lang, vorn 6 bis 8 mm breit. E. echinoderma, Haut mit Häkchen. Carcinonemertes, Rüssel kurz, Rüsselscheide äußerst schwach entwickelt; verschiedene, an den Kiemen oder zwischen den Eiern decapoder Krebse schmarotzende Arten. — Ototyphlonemertidae ohne Augen mit 1, seltener 2 Paar Statocysten.

II. Sektion Holorhynchocoelomia. Körper meist kurz, Zusammenknäuelung nicht üblich, einige Arten Schwimmer. Rüssel mindestens so lang wie der Körper. Rhynchocölom in der Regel erst vor dem After endend.

Prosorhochmidae, mit 4 Augen. Mund- und Rüsselöffnung fallen zusammen, meist Zwitter. Prosorhochmus viviparus lebendig gebärend. Gatt. Geonemertes auf dem Lande, eine Art (G. arboricola) auf Bäume gehend. — Amphiporidae, mit zahlreichen Augen (bis 200). Mund- und Rüsselöffnung meist zusammenfallend, bisweilen getrennt, aber dicht benachbart. Amphiporus pulcher (Fig. 17) und zahlreiche andere Arten weit verbreitet. — Drepanophoridae, Rüssel mit zahlreichen, nadelförmigen Angriffsstiletts (etwa 20) auf sichelförmigen Sockel. Drepanophorus crassus, kosmopolitische Art. — Pelagonemertidae, Körper durchsichtig, stark verbreitert und dünn. Rüssel ähnlich wie bei Drepanophorus (O. Bürger, Wiss. Erg. Deutsch. Tiefseeexped. 16, 2, 1909), pelagische Tiefseebewohner. — Von gleicher Lebensweise Nectonemertidae, Hinterende zu einer wagerechten Flosse verbreitert, zum Teil mit fadenförmigen Anhängen am Vorderkörper. — Tetrastemmatidae (Prostomatidae), kleine Arten, meist mit 4 Augen. Tetrastemma, (Prostoma) marin, einzelne Spezies Zwitter. Im süßen Wasser die Gattung Stichostemma, ebenfalls mit einigen zwittrigen, bisweilen lebendig ge-

Digitized by Google

bärenden Arten. — Malacobdellidae, Entocommensalen in Meer- und Süßwassermollusken; egelartig, am hinteren Ende des gedrungenen Körpers ein Saugnapf. Rüssel ohne Stiletts, Darm ohne Seitentaschen. Malacobdella grossa in Cyprina islandica. Wegen ihrer abweichenden Organisation hat man vorgeschlagen, für diese Gattung eine besondere Unterordnung Bdellonemertini zu schaffen.

3. Unterordnung Heteronemertini. Rüssel unbewaffnet. Mundöffnung sehr groß, hinter dem Gehirn, Darm ohne vorderen Blindsack. Haut aus Epithel und Cutis, der Hautmuskelschlauch aus einer äußeren Längs-, Ring- und inneren Längsmuskelschicht bestehend. Zwischen den beiden ersteren Muskelschichten verlaufen die seitlichen Nervenstämme, zwischen den beiden letzteren bisweilen eine Diagonalfaserschicht. Durchweg marin und freilebend. 2 Familien.

Eupoliidae (Baseodiscidae). Die Muskulatur des Rüssels nur zweischichtig, Kopf ohne seitliche Spalten. Eupolia, (Taeniosoma) Kopf scharf vom Rumpf abgesetzt und in diesen zurückziehbar. Körper weich, bandförmig, bis über 3 m lang. — Lineidae, im Rüssel alle 3 Muskelschichten des Hautmuskelschlauchs enthalten, in der Regel (Ausnahme Zygeupolia, Paralineus) mit tiefen Kopfspalten. Artenreichste Familie der Nemertinen. Lineus longissimus, bis 30 m lang. Eine Anzahl durch einen feinen Schwanzanhang ausgezeichneter Gattungen werden zur Unterfamilie Micrurinae vereinigt. Micrura kleine, weiche, dünne Formen. Cerebratulus, breite, kräftige Formen von elliptischem Querschnitt, einzelne Species (C. marginatus) gute Schwimmer.

Phylogenie. So wenig an der Verwandtschaft der Turbellarien, Trematoden und Cestoden einerseits und der Turbellarien und Nemertinen andererseits zu zweifeln ist, so stimmen doch die Ansichten über die Art ihres genetischen Zusammenhanges keineswegs überein. Die Differenzen beginnen schon bei der Frage, welche Turbellarien die ursprünglichsten sind; bald werden die Acölen, bald die Polycladen genannt, und je nachdem die Vorfahren der Strudelwürmer unter primitiven, planulaähnlichen Organismen (v. Graff u. a.) oder unter höher spezialisierten, zur kriechenden Lebensweise übergegangenen Formen aus dem Kreise der Ctenophoren (Coeloplana, Ctenoplana) gesucht (Lang u. a.), ja man hat sogar die Plathelminthen als degenerierte Abkömmlinge annelidenartiger Stammformen betrachtet (Hubrecht, Jen. Zeitschr. Nat. 39, 1904). Für die Anhänger der beiden letzten Anschauungen besteht vor allem die Schwierigkeit, die in jeder Beziehung einfachere Organisation der Acölen zu erklären; denn weder die Lebensweise dieser marinen, äußerst gefräßigen, räuberischen Formen noch ihre Entwickelung bietet irgendwelchen Anhalt für die Annahme, daß der primitive Charakter ihres Parenchyms, ihres Nervensystems und ihres Genitalapparates durch Rückbildung hervorgerufen, und dabei sowohl der Darm, wie der Excretionsapparat vollständig verloren gegangen sein könnte. Auch der Versuch, die Acölen als geschlechtsreif gewordene Jugendstadien alter Stammformen der Turbellarien zu deuten (Lang), hilft nicht weiter; entweder waren diese Stammformen in ihrer Jugend ähnlich organisiert wie die heutigen Acölen, was für eine primitive Stellung der letzteren sprechen würde, oder sie besaßen einen Darm, dann bleibt nach wie vor die Frage, wie dieser verschwinden konnte; die Annahme der Neotenie an sich erklärt nichts. Daß umgekehrt die aus der Anerkennung des primitiven Charakters der Acölen sich ergebende Annahme darmloser Stammformen der Turbellarien zunächst etwas befremdendes hat, ist angesichts der hergebrachten Vorstellungen über eine cölogastrulaähnliche, gemeinsame Ausgangsform der Metazoen ohne weiteres zuzugeben. Es bleibt jedoch zu überlegen, ob sich diese Vorstellungen nicht soweit modifizieren lassen, daß die darauf gegründeten Bedenken gegen die Ursprünglichkeit der Acölen hinfällig werden. Von den Acölen oder deren Stammformen würden sich dann einerseits die Polycladen, andererseit die Rhabdocölen und Allöocölen mit der hier sich allmählich entwickelnden Trennung von Germarien und Vitellarien ableiten. An die Allöocölen würden sich wiederum die Tricladen anschließen, worauf sowohl der Bau des Nerven- und Excretionssystems in beiden Gruppen, wie ihre Entwickelung hindeutet.

Jedenfalls an rhabdocölidenähnliche Vorfahren knüpfen ferner die Trematoden an, wenn auch einzelne Autoren sich für ihre Abstammung von den Tricladen ausgesprochen haben (Lang). Für erstere Ansicht zeugt aber nicht nur die Organisation der Miracidien, sondern auch das Vorkommen eines einfachen Darmsackes bei den primitivsten geschlechtsreifen Trematoden (s. oben S. 959), der Besitz eines Pharynx bulbosus, sowie der Umstand, daß gerade bei den Rhabdocöliden zahlreiche Formen zum parasitischen Leben übergegangen sind. Im allgemeinen werden die endoparasitischen Digenea von den ectoparasitischen Monogenea abgeleitet; doch kann auch die Ansicht vertreten werden, daß beide sich divergierend aus gemeinsamer Wurzel entwickelt haben (Benham), die vielleicht den Temnocephalen nahe gestanden hat.

Unsicherer ist die Ableitung der Cestoden, deren Vorfahren sowohl unter den mono- und digenetischen Trematoden als auch unter den Turbellarien gesucht worden sind. Die geringste Wahrscheinlichkeit hat wohl die Annahme der Turbellarienabstammung, da die Organisation der Cestoden, besonders aber der primitiven Cestodarien deutliche Beziehungen zu den Trema-

Digitized by Google

toden erkennen läßt. Prüft man die beiden Möglichkeiten der Abstammung von den Trematoden, so können die Embryonalhäkchen der Oncosphären vielleicht als Hinweis auf eine Verwandtschaft mit den Monogenea aufgefaßt werden. Dagegen ist nach der ganzen Entwicklungsweise der Digenea in der entfernten Formübereinstimmung zwischen dem Ruderschwanz der Cercarien und der Schwanzblase der Finnen wohl nur eine rein äußerliche Aehnlichkeit zu sehen (Spengel, Zeitschr. wiss. Zool. **82**, 1905).

So unverkennbar sich endlich in der Organisation der Nemertinen ihre nahen Beziehungen zu den Turbellarien ausprägen, so besitzen sie doch eine Reihe primitiver Eigenschaften (epitheliale Lage des Nervensystems mancher Paläonemertinen, einfacher Bau der Gonaden), die ihre Ableitung von Typen wie die jetzt lebenden Turbellarien fraglich erscheinen lassen. Eher ist wohl an eine Entstehung der Turbellarien und Nemertinen aus gemeinsamen Ahnen zu denken, die in den genannten Merkmalen noch nicht Turbellarien-Charakter angenommen hatten (Bürger). After und Blutgefäßsystem stellen jedenfalls Neuerwerbungen der Nemertinen dar. Ueber den Ursprung des Rüssels gehen die Anschauungen weit auseinander; nach der einen Ansicht (Bürger) soll er aus dem Pharynx der Turbellarien hervorgegangen sein, so daß der Vorderdarm der Nemertinen eine Neubildung sein würde; nach einer anderen (Lebedinsky) soll Rüssel + Vorderdarm der Nemertinen dem Turbellarienpharynx + Pharyngealtasche homolog sein; nach einer dritten endlich (Salensky) soll der Rüssel der Nemertinen dem der Turbellarien entsprechen. Nach den letzten Untersuchungen Salenskys (op. cit. S. 974) erscheint seine Auffassung sachlich wohl am besten begründet. Dazu kommt ferner, daß die von Bürger als Nemertinenahnen gedachten Urturbellarien sicher noch keinen Pharynx compositus — der für die Ableitung des Nemertinenrüssels allein in Frage käme — besessen haben können, während schon bei sehr primitiven Rhabdocölen die Ausbildung des Vorderendes als Rüssel zu beobachten ist. — Unter den Nemertinen selbst stehen jedenfalls die Paläonemertinen durch die schon erwähnte Lage des Nervensystems, durch den bei einigen Formen noch taschenlosen Darm und das Fehlen der Pseudometamerie, sowie durch den Besitz von nur 2 Blutgefäßen und die geringe Entwickelung von Rüssel und Rhynchocölom an niederster Stelle. Von ihnen sind einerseits die Hetero-, andererseits die Metanemertinen ausgegangen.

5. **Biologie.** Die freilebenden Turbellarien und Nemertinen sind meist Wasserbewohner, und auch die auf dem Lande lebenden Formen unter ihnen sind an feuchte, dunkle Orte gebunden. Viele Polycladen und Acölen, sowie eine Anzahl Rhabdocöliden und Nemertinen vermögen frei zu schwimmen, teils nur mit Hilfe der Wimpern, teils unter flatternden Bewegungen der Seitenteile des verbreiterten Körpers. Bei einzelnen Acölen (Haplodiscus) und Nemertinen (Pelago-, Plancto-, Nectonemertes) kennzeichnet sich die Verbreiterung des Körpers, bei letzteren auch die gallertige Ausbildung des Parenchyms, die den Körper vollständig durchsichtig werden läßt, und die Ausbildung flossenartiger Anhänge als Anpassung an die pelagische Lebensweise. Die Mehrzahl der Formen, darunter sämtliche Tricladen, sind jedoch zur Fortbewegung auf das Gleiten auf einer Unterlage (als welche auch das Wasseroberhäutchen dienen kann) angewiesen; bisweilen sind sie außerdem noch zu einer Spannbewegung fähig. Das Gleiten geschieht bei gestreckter, ruhiger Körperhaltung unter regelmäßigen, wellenförmigen Kontraktionen der Längsfasern des Hautmuskelschlauchs der Kriechsohle, unterstützt durch die Tätigkeit der Wimpern. Ein von den erythrophilen Hautdrüsen ausgeschiedener, häufig als Gleitspur zurückbleibender Schleim dient dabei zur Schlüpfrigmachung des Bodens. Der Verschleimung des eigenen Körpers, die z. B. den Wimperschlag beeinträchtigen würde, soll das Sekret der cyanophilen Hautdrüsen entgegenarbeiten (Wilhelmi). Einige Rhabdocöliden, Tricladen und Nemertinen vermögen sich zeitweilig in von ihren Hautdrüsen ausgeschiedenen Schleimhüllen zu encystieren. Manche Nemertinen (besonders Carinellaarten) wohnen dauernd in mit Steinchen gepanzerten Sekretröhren.

Die meisten Turbellarien und Nemertinen leben von animalischer Nahrung, indem sie Tiere aus allen möglichen Klassen, soweit sie ihrer Herr werden können, erbeuten. Die besonders räuberischen Seetricladen befallen selbst kleine Fische, die sich in den Sand einwühlen (Uebergang zum Gelegenheitsparasitismus). Im Dienste der Nahrungsaufnahme steht ein zumal bei den Tricladen und manchen Nemertinen hoch ausgebildetes Witterungsvermögen.

Sehr eigenartig gestaltet sich die Ernährungsweise einiger Acoelen, die sich regelmäßig mit braunen Zooxanthellen (Convoluta convoluta) oder grünen Zoochlorellen vergesellschaften (C. roscoffensis). Dabei liefern die Würmer in ihren aus der Verdauung der gefressenen Nahrung herrührenden Stoffwechselprodukten den Algen Material zum Aufbau von Proteiden, während diese wiederum den Würmern nicht nur das fehlende Exkretionssystem ersetzen, sondern auch Sauerstoff und Kohlehydrate liefern. Bei Convoluta convoluta erhält sich dies Verhältnis zwischen Tier und Alge dauernd zu beider-

Digitized by Google

seitigem Vorteil. Bei C. roscoffensis wird es dagegen schließlich dadurch gestört, daß die Tiere, sobald ihre Zoochlorellen sich reichlich vermehrt haben und zu ausgiebigen Nahrungsproduzenten geworden sind, zu fressen aufhören. Infolge davon stellt sich zunächst N-Mangel für die Algen und dann weiterhin Nahrungsmangel für die Würmer ein, der endlich, nachdem sie die in ihnen enthaltenen Zoochlorellen verdaut und aufgebraucht haben, ihren Tod nach sich zieht (Gamble und Keeble, Quart. Journ. Micr. Sc. 51, 1907).

Der hohen Regenerationskraft der Süßwassertricladen wurde schon oben (s. S. 975) gedacht. Ihnen nahe stehen in dieser Beziehung einzelne Landplanarien (Bipalium kewense) und Polycladen (Cestoplana). Sie gehören dank dieser Eigenschaft zu den am meisten bei experimentellen Studien über das Wesen der Regeneration benutzten Objekten. Nicht alle Turbellarien besitzen jedoch die gleiche regulatorische Fähigkeit, einzelne Formen ermangeln ihrer sogar in auffallend hohem Maße (Mesostoma ehrenbergi). Unter den Nemertinen zeichnen sich gleichfalls gewisse Formen durch ein großartiges Regenerationsvermögen aus (Lineus ruber, vgl. Oxner, Ann. Inst. Océan. 1910).

Angesichts der durchweg parasitischen Natur der Trematoden und Cestoden ist es beachtenswert, daß Parasitismus bereits unter den Turbellarien weit verbreitet ist. Alle Gruppen der Strudelwürmer enthalten parasitische Arten, vor allem die Rhabdocöliden (nicht weniger als 27 parasitische Species), und alle Formen des Schmarotzertums, vom gelegentlichen Raumparasitismus und Kommensalismus bis zum echten Ekto- und Endoparasitismus sind unter ihnen vertreten. Zugleich sind dabei, z. T. schon bei freilebenden Formen vorbereitet, zahlreiche Anpassungen an die parasitische Lebensweise — verstärkte Ausbildung von Haftscheiben, auf reichere Eiproduktion hinzielende Abänderungen am Geschlechtsapparat, Reduktion der Bewimperung, der Augen, bei den Fecampiiden sogar von Mund und Darm — zu bemerken, die den Uebergang zu den extremen Anpassungen verständlich machen, wie sie Bau und Entwickelung der Trematoden und Cestoden zeigen. Auch unter den Nemertinen sind einzelne Arten zur parasitischen Lebensweise übergegangen, wobei gleichfalls charakteristische Abänderungen — Reduktion der Sinnesorgane und Ausbildung einer Saugscheibe (Malacobdella), oder Steigerung der Fruchtbarkeit (Carcinonemertes) — eingetreten sind.

Die Lebensgeschichte der Trematoden und Cestoden ist gemäß der parasitischen Natur dieser Formen eng mit der ihrer Wirte verbunden. Relativ am unabhängigsten sind die Temnocephalen, die nur Ektokommensalen ihrer Wirte sind und sich von erbeuteten Insektenlarven, kleinen Krustern usw. nähren Die Monogenea dagegen beziehen bereits als echte Parasiten ihre Nahrung von Teilen ihrer Wirte (Blut, Schleim, Epithelzellen, Sperma usw.). Ihren Sitz bilden vorwiegend die Kiemen von Meer- und Süßwasserfischen, seltener die Haut oder Mund, Rachen und Kloake von Fischen, Amphibien und Reptilien oder die Körperoberfläche parasitischer Crustaceen (Udonella caligorum).

Bei Polystomum integerrimum leben nur die Jungen ektoparasitisch an den Kiemen von Kaulquappen, um dann nach dem Schwunde derselben bei der Metamorphose nach innen zu wandern und in der Harnblase der Frösche geschlechtsreif zu werden.

Die Digenea kommen als erwachsene Tiere mit Ausnahme einiger Aspidobothriiden ausschließlich in Wirbeltieren vor, wo sie fast alle Organe (außer Knochen, Nervensystem und männlichen Genitalien) bewohnen, wenn auch der Darmkanal ihr Hauptsitz ist. In der Regel leben sie hier frei beweglich, können sich aber natürlich zeitweise mit Hilfe ihrer Saugorgane befestigen. Bisweilen dringen sie mit dem Vorderende in die Darmwand ein oder veranlassen die Bildung von Cysten.

Die im Menschen vorkommenden Digenea sind mit wenigen Ausnahmen nicht für ihn spezifisch, sondern Parasiten domestizierter Tiere, die den Menschen nur gelegentlich infizieren.

So sind ihm mit Schaf und Rind (und zahlreichen anderen herbivoren Säugetieren) gemeinsam: Fasciola hepatica und gigantea, Dicrocoelium lanceatum, möglicherweise auch Gastrodiscus hominis; mit Hund und Katze Opisthorchis felineus, Metorchis truncatus, Heterophyes heterophyes, Clonorchis sinensis, Paragonimus westermanni (auch im Tiger und Schwein), Schistosomum japonicum; mit dem Schwein: Fasciolopsis buski. Bei einzelnen Arten (Clonorchis sinensis) kann allerdings die Zahl der von ihnen befallenen Menschen recht beträchtlich sein. Nur aus dem Menschen bekannt sind bisher Cladorchis watsoni, Opisthorchis noverca, Clonorchis endemicus, Echinostomum ilocanum, sowie Schistosomum hämatobium und mansoni; für eine Reihe dieser Formen dürften jedoch wohl auch noch andere Wirte aufgefunden werden. Die durch diese Parasiten herbeigeführten Schädigungen sind im allgemeinen gering, solange die Parasiten nicht, was bisweilen geschieht, in wichtigere Organe (Auge, Gehirn) gelangen. Gefährlicher sind Paragonimus westermanni, der bisweilen zu heftigen Lungenblutungen führt, Clonorchis sinensis und endemicus, die zu Tausenden in demselben Individuum vorkommen und schwere Veränderungen der Lebersubstanz und Gallengänge bewirken können, und die im Blut (besonders des Pfortadersystems) schmarotzenden Schistosomumarten, die nicht selten heftige Erkrankungen von Blase, Nieren oder Darm nach sich ziehen.

Die Bandwürmer leben geschlechtsreif

Digitized by Google

fast nur im Darm von Wirbeltieren, in der Regel im Dünndarm, wobei oft ganz bestimmte Stellen desselben, entsprechend der dort herrschenden chemischen Beschaffenheit des Speisebreis, bevorzugt werden. Nur ganz selten dienen der Magen bezw. die ihm bei vielen Fischen anhängenden Appendices pyloricae, in Ausnahme- oder pathologischen Fällen Leber, Gallenblase oder Pankreas als Wohnort. Die Cestoden befestigen sich meist mit Hilfe ihrer Saugnäpfe und Haken an der Darmwand, wobei sie häufig gar keine oder nur geringe Schädigungen der Schleimhaut verursachen, zumal da sie die Anheftungsstelle häufig wechseln. Bisweilen dringen sie mit ihrem Rostellum in die Mündung der Lieberkühnschen Drüsen vor, stark bewaffnete Formen können sich auch tiefer in die Submucosa oder Muscularis der Darmwand einbohren.

Von den menschlichen Bandwürmern scheinen drei (Taenia solium, T. saginata, Davainea madagascariensis) nur ihm eigen zu sein, andere teilt er mit Hund und Katze (Bothriocephalus latus, Dipylidium caninum) oder mit Ratte und Maus (Hymenolepis murina, H. diminuta). Bildet der Mensch für diese Arten den Endwirt, so spielt er bei Taenia echinococcus des Hundes zusammen mit zahlreichen Säugetieren (besonders Schaf, Rind, Schwein) nur die Rolle des Zwischenwirtes. Sowohl als End- wie als Zwischenwirt kann er bei T. solium dienen. Die von den Bandwürmern hervorgerufenen Beschwerden sind oft auffällig gering, schwerere Krankheitserscheinungen (nervöse Störungen, Anämie) jedenfalls selten. Vielfach wird angenommen, daß sie durch Giftstoffe, die die Bandwürmer enthalten oder durch ihren Stoffwechsel erzeugen, verursacht werden; doch widersprechen sich die Angaben darüber beträchtlich. Gefährlicher sind die Infektionen mit Finnen, die ihren Sitz oft in lebenswichtigen Organen nehmen oder die befallenen Organe hochgradig zerstören.

Neben den zahlreichen Besonderheiten des Körperbaues, deren schon gedacht wurde, macht sich der Einfluß der endoparasitischen Lebensweise besonders in der enormen Steigerung der Fruchtbarkeit geltend, die für die digenetischen Trematoden und Cestoden charakteristisch ist. Die Fülle glücklicher Zufälle, die sich bei der mehrfachen Uebertragung von Wirt zu Wirt miteinander kombinieren müssen, wenn aus einem Ei wieder ein geschlechtsreifer Wurm hervorgehen soll, erfordert, daß diesem Zufallswalten eine ungemein große Zahl von Keimen ausgesetzt wird, wenn anders die Art erhalten bleiben soll.

Die Produktion einer solchen Masse von Keimen wird bei den Bandwürmern in der Regel durch die mit der Proglottidenbildung einhergehende Multiplikation der Geschlechtsorgane ermöglicht. So ergibt sich z. B. für T. saginata bei 800 Proglottiden und einer auf 8000 berechneten Eizahl in jeder Proglottis eine Gesamtmenge von über 6 Millionen im Wurm zur Ausbildung gelangender Eier, eine Zahl, die aber dem Umstande, daß der Wurm während seines bisweilen 8 bis 10 Jahre dauernden Lebens viele Meter von Proglottiden abstößt und wieder neu erzeugt, noch keine Rechnung trägt. Bei den Digenea ist dagegen die Erzeugung der zur Erhaltung der Art notwendigen Masse von Keimen nicht so sehr einer vermehrten Eiproduktion seitens der Geschlechtstiere, als vielmehr der multiplizierenden Wirkung der bei dem Generationswechsel aufeinanderfolgenden Geschlechter zu verdanken. Nimmt man mit Leuckart die Zahl der Eier von Fasciola hepatica gleich 45000, die Zahl der in einer Sporocyste erzeugten Redien und ebenso die der in einer Redie erzeugten Cercarien nur gleich 10 an, so würden aus einem einzigen Muttertier, falls alle Nachkommen am Leben blieben, bei einer Rediengeneration 4,5 Millionen, bei 2 Rediengenerationen 45 Millionen Leberegel hervorgehen. Aehnlich liegen die Verhältnisse bei den Taenien, deren Cysticerken durch Proliferation zahlreiche Scoleces erzeugen. Hier ist die Zahl der Proglottiden bisweilen sehr gering (bei T. echinococcus 3 bis 4), die Masse der Nachkommen aber trotzdem sehr groß, da die Zahl der Eier mit der der Scoleces multipliziert, wiederum leicht eine in die Millionen gehende Summe ergibt.

6. Geographie. Von den ausschließlich marinen Acölen und Polycladen sind die ersteren (mit Ausnahme einer unsicheren Art) bisher nur aus dem nördlichen Eismeer und dem Atlantischen Ozean samt Nebenmeeren bis 5° nördl. Breite bekannt, die letzteren dagegen weltweit verbreitet. Marine Rhabdocöliden und Tricladen kennt man mangels ausgedehnterer faunistischer Untersuchungen genauer fast nur von den europäischen Küsten, von Grönland und der Ostküste Nordamerikas. Unter den Schnurwürmern sind die Paläonemertinen im wesentlichen Bewohner der nördlichen Meere, die Meta- und Heteronemertinen Kosmopoliten. Unter den Metanemertinen zeigen sogar einzelne Gattungen (Amphiporus) und Arten (Drepanophorus crassus) eine über alle Meeresgebiete von der Arktis zur Antarktis reichende Verbreitung. Für die Süßwasserturbellarien und -nehmertinen darf, soweit unsere Kenntnisse reichen, angenommen werden, daß die meisten Gattungen und auch einzelne Arten Ubiquisten sind.

So kennt man Mesostoma ehrenbergi aus Mittel- und Nordeuropa bis nach Sibirien, Innerasien, Nordamerika und Westindien, das Genus Mesostoma auch aus Ostafrika und Australien, die Gattung Planaria gleichfalls aus allen 5 Weltteilen und aus Neuseeland, ebenso die Gattung Stichostemma (Australien und Neuseeland ausgenommen). Durch ihre Verbreitung bemerkenswert ist Planaria alpina, die nur an weit auseinandergelegenen Punkten, in Gewässern des hohen Nordens und des Hochgebirges, sowie in isolierten, kalten Wässern des Mittelgebirges und der Ebene vorkommt, eine Verbreitung, die sie als Ueberreste der stenothermen Fauna charakterisiert, die zur

Digitized by Google

Eiszeit die Gewässer des ganzen mitteleuropäischen Flachlandes bewohnte. Auch einzelne Rhabdocöliden (Otomesostoma auditivum, Plagiostoma lemani u. a.) werden in diesem Sinne als Glazialrelikte angesehen, ob mit Recht ist fraglich.

Zoogeographisch von größerer Bedeutung sind die landbewohnenden Tricladen, deren Verbreitung in den Hauptzügen die gleichen faunistischen Gebiete erkennen läßt, die Sclater und Wallace auf Grund der Verbreitung der Vögel und Säugetiere aufgestellt haben. Für die indische Region, sowie für die japanische Subregion des paläarktischen und die madagassische Subregion des äthiopischen Gebietes sind die Bipaliiden charakteristisch, für die neotropische und australische Region vor allem die Geoplaniden, die sich mit $^3/_4$ ihrer rund 175 Arten in diesen beiden Gebieten finden. Von den beiden Gattungen der Cotyloplaniden, denen wohl besser Familiencharakter verliehen würde, ist die eine (Artiocotylus) südafrikanisch, die andere (Cotyloplana) indomalaiisch und neuseeländisch. Nur die Rhynchodemiden sind durch alle Regionen verbreitet. Die Landnemertinengattung Geonemertes hat ihr Verbreitungszentrum im australischen Gebiet.

Die geographische Verbreitung der Trematoden und Cestoden, die natürlich der ihrer Wirte entspricht, ist bis jetzt nur selten Gegenstand besonderer Untersuchungen gewesen. Daß auch hier Tatsachen von hohem zoogeographischem Interesse zu ermitteln sind, lehrt die Cestodengattung Linstowia, die sich ausschließlich in den südamerikanischen Didelphyiden und in australischen Beutlern (Perameles) und Monotremen (Echidna) findet, ein Hinweis darauf, daß wahrscheinlich zwischen den Marsupialiern Australiens und Südamerikas ein alter, genetischer Zusammenhang anzunehmen ist (Zschokke, Zentralbl. Bakt. Paras. I, 36, 1904).

Literatur. **W. B. Benham,** *The Platyhelmia, Mesozoa and Nemertini, in Lankester, Treatise on Zoology IV. London 1901.* — **A. Brauer,** *Die Süßwasserfauna Deutschlands, Heft 17, Trematodes. Bearbeitet von M. Lühe; Heft 18, Cestodes. Bearbeitet von M. Lühe; Heft 19, Nemertini. Bearbeitet von R. Hartmeyer; Turbellaria. I. Rhabdocölida. Bearbeitet von L. v. Graff; II. Tricladida. Bearbeitet von L. Böhmig. Jena 1909.* — **M. Braun,** *Die tierischen Parasiten des Menschen. 4. Aufl. Würzburg 1908.* — **Bronns** *Klassen und Ordnungen des Tierreichs: Trematodes. Bearbeitet von M. Braun, 1879 bis 1893; Cestodes. Bearbeitet von M. Braun, 1894 bis 1900; Nemertini. Bearbeitet von O. Bürger, 1897 bis 1907; Acöla und Rhabdocölida. Bearbeitet von L. v. Graff, 1904 bis 1908.* — **L. v. Graff,** *Monographie der Turbellarien, II, Tricladida terricola. Leipzig 1899.* — **Korschelt und Heider,** *Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte der wirbellosen Tiere, 1. Liefg. Jena 1890.* — **A. Lang,** *Die Polycladen. Fauna und Flora des Golfs von Neapel. 11. Monogr. Berlin 1884.* — **Derselbe,** *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. 1. Abtlg. Jena 1888.* — **J. Wilhelmi,** *Tricladen. Fauna und Flora des Golfs von Neapel. 32. Monogr. Berlin 1909.*

E. Bresslau.

Playfair
John.

Geboren als Sohn eines Geistlichen am 10. März 1748 in Benvie bei Dundee (Schottland), zeigte er früh eine bedeutende Begabung für Mathematik. Er widmete sich gleichwohl theologischen Studien, studierte in Aberdeen und Edinburg, war von 1773 bis 1782 Pfarrer in Liff und Benvie, dann Hauslehrer bei einem Mann namens Ferguson. 1785 erhielt er eine Professur für Mathematik an der Universität Edinburg. 1805 wurde er Professor der Naturphilosophie an der gleichen Universität. Durch Hutton in die Geologie eingeführt, unternahm er in den Ferien geologische Streifzüge durch Schottland, Wales und Irland, bereiste 1815 Frankreich, die Schweiz und Italien. Er war Mitglied der Royal Society of Edinburg, deren Sekretär er 1789 wurde. Am 20. Juli 1819 starb er in Edinburg. Seine Bedeutung für die Geologie beruht vor allem darauf, daß er als Anhänger der Erdtheorie Huttons, des Begründers der plutonistischen Schule, diese in populärer Form in zahlreichen Veröffentlichungen verbreitete (Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth. Edinburg 1802). Er schrieb einen musterhaften Stil; seine Beweisführung war durch große Klarheit ausgezeichnet. Diese Eigenschaften sichern seinen Schriften einen hervorragenden Platz in der geologischen Literatur. Er war der erste, der die Ansicht aussprach, daß die erratischen Blöcke des Jura nur durch Gletschereis transportiert sein könnten. Auch eine Zusammenstellung der in Europa beobachteten Hebungen und Senkungen des Festlands rührt von ihm her. Die Hebungserscheinungen erklärte er durch die Expansivkraft der unterirdisch erhitzten Gesteinsmassen.

Literatur. *Dictionary of National Biography Vol. XLV S. 413 bis 414. London 1893.* — **Poggendorffs** *Biogr.-Lit. Handwörterbuch Bd. 2 S. 470.*

O. Marschall.

Plücker.
Julius.

Geboren am 16. Juli 1801 in Elberfeld, gestorben am 22. Mai 1868 in Bonn. Er war von 1825 an Privatdozent, später außerordentlicher Professor der Mathematik in Bonn, 1834 in Halle, 1836 ordentlicher Professor der Mathematik und Physik in Bonn. Zunächst nur auf mathe-

Digitized by Google

matischem Gebiet tätig, wandte er später seine Arbeitskraft physikalischen Problemen zu und untersuchte die elektrischen Lichterscheinungen im luftverdünnten Raum. Plücker ist der Erfinder der Geißlerschen Röhren und der Entdecker der bei höchsten Luftverdünnungen auftretenden Fluoreszenz der Glaswände (Kathodenstrahlen).

Literatur. **Clebsch,** *Zum Gedächtnis an J. P. Göttingen 1871.* — **Dronke,** *P. Bonn 1871.*

E. Drude.

Plutonismus

ist die Lehre von der feurigflüssigen Entstehung des Granites und ähnlicher Gesteine (vgl. den Artikel „Neptunismus"). Ihre Vertreter heißen Plutonisten. „Plutonische Gesteine" ist gleichbedeutend mit „Tiefengesteine" (vgl. den Artikel „Gesteinseinteilung").

Pneumatolyse

nannte Bunsen die Einwirkung von magmatischen Gasen und Dämpfen auf die Gesteine (vgl. den Artikel „Mineral- und Gesteinsbildung").

Poggendorf

Johann Christian.

Geboren am 29. Dezember 1796 in Hamburg, gestorben am 24. Januar 1877 in Berlin. Er war von 1812 bis 1820 Pharmazeut, studierte dann in Berlin, wurde 1834 dort Professor, 1839 Mitglied der Akademie. 1824 übernahm er nach Gilberts Tod die Herausgabe der Annalen der Physik und Chemie, von denen unter seinem Namen 160 Bände erschienen sind. Von ihm stammt die Methode der Spiegelablesung von Achsendrehungen, vor allem am Galvanometer, die Kompensationsmethode zur Messung von elektromotorischen Kräften, die Poggendorfsche Wage zur Demonstration der Bewegungsgesetze und anderes mehr. Auch eine Geschichte der Physik, Leipzig 1879, ist von ihm erschienen.

Literatur. *Annalen der Physik und Chemie, Band 160.*

E. Drude.

Poincaré

Henri.

Geboren am 29. April 1854 in Nancy, gestorben am 17. Juli 1912 in Paris. Er besuchte die Ecole Politechnique, war alsdann als élève-ingénieur in Oesterreich und Schweden tätig, bis er 1879 als ingénieur des mines in Vesoul angestellt wurde. Bald gab er die praktische Tätigkeit auf, um sich dem Lehrfach zu widmen, wurde zunächst in Caen Dozent an der Faculté des sciences, 1881 als Stellvertreter an der Sorbonne angestellt, 1885 dort zum Professor für mathematische Physik, 1896 außerdem für Himmelsmechanik ernannt. Daneben bekleidete er Professuren an der École Politechnique und der Ecole Centrale. 1887 wurde er zum Mitglied der Académie des sciences ernannt, 1908 in die Académie Française aufgenommen. Poincaré beherrschte die Mathematik, theoretische Physik, Astronomie gleichmäßig. Für die Physik sind von besonderer Bedeutung seine Arbeit über die Gleichgewichtsfiguren gravitierender und rotierender Flüssigkeiten, seine Theorien der Beugung an einem geraden Rand und der Hertzschen Resonatoren. Seine Theorie der automorphen Funktionen gehört der reinen Mathematik, seine Mécanique Céleste der Astronomie an. Diejenige Aufgabe, die dauernd sein Interesse in Anspruch nahm, war nach seiner eigenen Aeußerung die Theorie der partiellen Differentialgleichungen. Für Poincarés Produktivität spricht der Umstand, daß er im Jahre 1908 der Académie Française gelegentlich der Bewerbung um ihre Mitgliedschaft 1300 Abhandlungen vorlegen konnte.

Literatur. **G. Eichhorn,** *Henri P., Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie 1912, Bd. 6, Heft 2.* — **Toulouse,** *Henri P., Paris.* — **E. Lebon,** *Henri P., Bibliographie analytique des Écrits, Paris.*

E. Drude.

Poinsot

Louis.

Geboren am 3. Januar 1777 in Paris, gestorben am 9. Dezember 1859 ebenda. Er war von 1794 bis 1797 Schüler der polytechnischen Schule, von 1809 Professor der Analyse und Mechanik und von 1816 an Éxaminateur d'admission an derselben Anstalt, gleichzeitig Professor der Mathematik am Lycée Bonaparte, Mitglied des Conseil superieur de l'instruction und seit 1852 Senator. Er gab eine Theorie der Drehung der Körper und führte in die Lehre vom Gleichgewicht den Begriff der Kräftepaare ein.

Literatur. **Bertrand,** *Discours aux funérailles de P. Paris 1860.*

E. Drude.

Poiseuille

Jean Léon Marie.

Geboren am 22. April 1799 in Paris, gestorben am 26. Dezember 1869 ebenda. Er war Arzt in Paris. Seine Untersuchungen auf dem Gebiet der Kapillarität führten ihn 1842 zur Aufstellung des unter seinem Namen bekannten Gesetzes für die Strömung in Kapillaren.

E. Drude.

Digitized by Google

Poisson

Siméon Denis.

Geboren am 21. Juni 1781 in Pithiviers, Departement Loiret, gestorben am 25. April 1840 in Paris. Sein Vater, ein kleiner Beamter, starb bald nach der Revolution und ließ die Familie in Dürftigkeit zurück. Da man Poisson für die Advokatenlaufbahn nicht befähigt genug erachtete, gab man ihn zu einem Onkel, der Chirurg war, in die Lehre, doch zeigte er hier ebensowenig Interesse, wie bei seinem früheren Unterricht. Durch Zufall auf die Mathematik gewiesen, fing er Feuer und zeichnete sich auf der polytechnischen Schule, der er von 1798 bis 1800 als Schüler angehörte, so aus, daß er die Aufmerksamkeit seiner Lehrer, besonders Lagranges, erregte. 1800 wurde er Repetent und 1806 Professor an derselben Anstalt, dann in rascher Folge Astronom am Längenbureau, Professor der Mechanik an der Faculté des Sciences, Examinator der Abiturienten der polytechnischen Schule; 1837 wurde er zum Pair von Frankreich ernannt. Poisson war ein außergewöhnlich rühriger Gelehrter und fruchtbarer Schriftsteller, mehr als 300 Abhandlungen mathematischen und physikalischen Inhalts stammen aus seiner Feder. Schon 1812 gab er eine Verallgemeinerung der Laplaceschen Gleichung für das Potential, unter dem Namen der Poissonschen Gleichung bekannt. Eine 1814 veröffentlichte Molekulartheorie der Elastizität wurde später von ihm noch ausgebaut, 1824 erschienen grundlegende Untersuchungen über den Magnetismus; auch auf dem Gebiet der Schwingungs- und Wellentheorie und der Kapillarität hat er Untersuchungen unternommen.

Literatur. *F. Arago, Biographie de P. Paris 1850.*

E. Drude.

Polarlicht.

1. Einleitung. 2. Die Formen des Polarlichtes: a) Dunst. b) Bogen und dunkles Segment. c) Strahlen und Korona. d) Bänder und Draperien. 3. Farbe, Intensität und Spektrum. 4. Höhe des Polarlichtes. 5. Verbreitung desselben. 6. Perioden desselben: a) Tägliche. b) 26- und 29tägige. c) Jährliche. d) 11jährige. 7. Beziehung des Polarlichtes zu Sonnenflecken, erdmagnetischen und Erdstromstörungen, Cirrenbildung. 8. Theorie des Polarlichtes. 9. Nähere Begründung der Theorie: a) Elektrische Eigenschaften der Sonne. b) Versuche von Birkeland. c) Berechnungen von Störmer: α) Voraussetzungen der Rechnung. β) Charakteristisches Produkt $H\varrho$. γ) Differentialgleichung der Trajektorie. δ) Diskussion der Gleichung der Trajektorie. d) Lage der Polarlichtzonen. e) Absorption der Polarlichtstrahlen in der Atmosphäre. f) Auftreten der Polarlichter an der Nachtseite der Erde. g) Beweglichkeit der Polarlichter. h) Dimension der Strahlen. i) Dimension der Draperien. 10. Zusammenfassung.

1. Einleitung. Zu den Leuchterscheinungen der Erdatmosphäre, die elektrischer Natur sind, gehören die Blitze, das Elmsfeuer und das Polarlicht. Blitze und Elmsfeuer sind Entladungsformen, in denen sich, oft eingeleitet durch intensive Kondensationsvorgänge, die elektrischen Spannungen der unteren Atmosphäre ausgleichen. Es sind also im engeren Sinne irdische Energien, die sich hierbei ausgleichen; wenngleich sie im letzten Grunde aus der Wärmestrahlung der Sonne stammen.

Das Polarlicht hat dagegen seinen Sitz wohl nur in höheren Schichten der Atmosphäre, und seine Energie rührt wohl direkt von einer elektrischen Sonnenstrahlung her, vielleicht von elektrischen Teilchen, die beim Eindringen in die Erdatmosphäre Lumineszenz erregen.

2. Die Formen des Polarlichtes.

2a) Polarlichtdunst. Ein ruhiger diffuser Schein am Abendhimmel von etwa Milchstraßenhelligkeit, meistens ohne erkennbare Grenzen und Formen; zuweilen ist eine den Cirruswolken ähnliche Form zu erkennen.

2b) Bogen und dunkles Segment. Der Bogen ist meistens einige Grad breit, von Regenbogenform. Er steht oft stundenlang ruhig nur mit geringer Verschiebung am Abendhimmel, nach unten durch ein dunkles, fast bräunlich graues Segment begrenzt. Zuweilen liegen mehrere Bogen übereinander durch dunkle Zwischenräume getrennt. Die Bogen liegen ungefähr senkrecht zum magnetischen Meridian (Fig. 1).

2c) Strahlen und Corona. Oftmals gehen in radialer Richtung vom Polarlichtbogen zum Zenit hin ruhige Strahlen; zuweilen wandern sie langsam längs des Bogens wie ein Scheinwerferlicht über den Abendhimmel. Die Strahlen verlaufen meist in Richtung der magnetischen Inklinationsnadel.

Wenn Strahlen von allen Richtungen des Himmels kommen und hoch emporreichen, bilden sie infolge der Perspektivwirkung eine Krone (Corona), oftmals von lebhafter Bewegung und großer Farbenpracht; die Strahlen scheinen dann alle nach dem Punkt des Himmels zu zielen, nach dem die Inklinationsnadel zeigt (Fig. 2).

2d) Bänder und Draperien. In Polargegenden beobachtet man oftmals, daß Strahlen, die vom Horizont losgelöst sind und sich seitlich aneinanderreihen, gewundene Bänder in wellenförmiger Bewegung bilden (Fig. 3).

Von unten gesehen haben sie dann das Aussehen von faltigen Vorhängen, von Draperien, oft mehrere hintereinander, die leicht bewegt im Winde zu flattern scheinen (Fig. 4).

Es ist nicht sicher, daß Bänder und Strahlen wirklich verschieden sind, vielleicht

Digitized by Google

Fig. 1.

Fig. 2.

Digitized by Google

sind Strahlen nur eine andere perspektivische Form der Bänder.

3. **Farbe**, **Intensität und Spektrum.** Polarlichtdunst und Bogen sind meist milchigweiß gefärbt. Auch die Strahlen sind oft weißlich; bei lebhafter Entfaltung jedoch auch farbig, oben grün, unten rot.

Fig. 3.

Bei dem letzten großen Polarlicht (25. September 1909), das auch in Mitteleuropa prächtig sichtbar war, zeigten die Strahlen eine rötliche bis violette Färbung.

Die Draperien leuchten zuweilen in allen Farben des Spektrums.

Eine Polarisation des Polarlichtes ist nicht vorhanden.

Die Intensität der Beleuchtung durch das Polarlicht ist meist viel schwächer als die durch das Mondlicht. Nur in ganz vereinzelten Fällen und nur in den hohen Breiten überschreitet die Helligkeit die bei Vollmond.

Die Photographie des Polarlichtes ist wegen der Lichtschwäche sehr schwierig, zumal gerade die helleren Lichtgebilde eine rasche Bewegung besitzen.

1892 hat Brendel und Baschin zum erstenmal in Bossekop (Nordnorwegen) mit besonders sensibilisierten Platten in 7 Sekunden Exposition eine Draperie photographiert. Erst 1910 sind C. Störmer eine größere Anzahl guter Aufnahmen gelungen. Störmer benutzte ein Kinematographenobjektiv von 25 mm Diaphragma und 50 mm Brennweite. Am besten bewährten sich Lumièreplatten Etiquette violette, dann Agfa chromo. Die Expositionszeit schwankte nach der Stärke des Lichtes von einem Bruchteil einer Sekunde bis zu 20 Sekunden (Fig. 1 bis 3).

Das Spektrum des Polarlichtes ist ein Linienspektrum; die Lichtwirkung rührt also von leuchtenden Gasen her. Bei starker Entfaltung zeigt das Spektrum große Aehn-

Fig. 4.

Digitized by Google

lichkeit mit dem Spektrum des negativen Glimmlichtes in einer Entladungsröhre, die verdünnte Luft enthält. Allerdings fehlt im Spektrum der Röhre die besonders charakteristische helle Linie im Gelbgrün ($\lambda = 557\ \mu\mu$) des Polarlichtspektrums, die bisher nicht identifiziert werden konnte.

Im ganzen sind über 100 Linien des Nordlichtspektrums ausgemessen.

Die besten Okularbeobachtungen (**Carlheim-Gyllenskjöld**, Spitzbergen 1882/83) ergeben außer der Hauptlinie $\lambda = 557\ \mu\mu$ noch Linien bei

λ = 657; 484 bis 487; 445; 411 (wahrscheinlich Wasserstoffspektrum);
λ = 500 bis 505 (Heliumspektrum);
λ = 631; 518 (anodisches Stickstoffspektrum);
λ = 530; 470 bis 471; 424 (kathodisches Stickstoffspektrum).

Die Okularbeobachtungen werden ergänzt durch photographische Aufnahmen des Spektrums (**Paulsen**, Island, Expositionsdauer bis zu einigen Wochen). Im Photogramm, besonders im violetten und ultravioletten Teil, treten hervor $\lambda = 428$; 337; 357; 391 (wahrscheinlich kathodisches Stickstoffspektrum).

Außer der Hauptlinie 557 treten im Polarlichtspektrum also vor allem Wasserstoff-, Helium- und Stickstofflinien auf.

Von den Wasserstofflinien im Polarlichtspektrum ist die grüne intensiver als die rote. Dies ist bei so niedrigen Drucken, wie sie in den Höhen des Polarlichtes herrschen, zu erwarten. Bei normalem Druck liegt das Intensitätsmaximum des Wasserstoffspektrums bei der roten Linie, geht aber bei stark sinkendem Druck auf die grüne Linie über.

Die Linien des Nordlichtspektrums erlauben Schlüsse über die Zusammensetzung der Luft in der Höhe des Polarlichtes.

Aus dem **Dalton**schen Gesetz über den Partialdruck der Gase folgt für die Erdatmosphäre, daß mit zunehmender Höhe die schwereren Bestandteile der Luft, Sauerstoff und Stickstoff, immer mehr zurücktreten gegen die leichteren, die oben mehr und mehr zur Zusammensetzung der Atmosphäre beitragen. Diese leichteren Bestandteile der Erdatmosphäre sind Wasserstoff, Helium und vielleicht noch ein weiteres leichtes Gas, das in der unteren Atmosphäre zwar noch nicht nachgewiesen ist, dem dann die Polarlichthauptlinie 557 angehört. Vielleicht ist dies hypothetische Gas identisch mit dem Koronium der Sonnenatmosphäre, von dem **Mendelejeff** vermutet, daß es das im periodischen System noch fehlende, sehr leichte, einatomige Gas vom Atomgewicht 0,4 sei. Allerdings ist die Koroniumlinie $\lambda = 530\ \mu\mu$ erheblich von der Nordlichtlinie verschieden.

Dies hypothetische Gas, das man im Gegensatz zum Sonnenkoronium Geokoronium genannt hat, würde dann in den höchsten Schichten vorherrschen. Bei etwa 70 km Höhe treten Stickstoff und Sauerstoff stark zurück, bei 100 km verschwinden sie, von 100 bis 200 km Höhe bilden dann Wasserstoff, Helium und Geokoronium die Bestandteile der Atmosphäre. Bei 200 km sind Wasserstoff und Geokoronium gleich stark vertreten und darüber hinaus überwiegt Geokoronium. Eine solche Schichtung der Atmosphäre würde mit den atmosphärischen Phänomenen, wie Dämmerungserscheinungen, Schallreflexionen, Sternschnuppenspektren und auch mit dem Polarlichtspektrum in guter Uebereinstimmung stehen.

Mit zunehmender Höhe treten im Polarlichtspektrum die Linien der leichten Gase besonders hervor.

Carlheim-Gyllenskjöld verglich das Spektrum des unteren Randes der Draperien mit dem sicher höher gelegenen Gipfel der Strahlen und fand:

Linien	im Fuß	im Gipfel
von anodischem Stickstoff	4	2
von kathodischem Stickstoff	14	10
von Wasserstoff	1	3
unbekannter Herkunft	4	8

Die Intensität des Stickstoffspektrums nimmt also mit der Höhe ab, die des Wasserstoffspektrums zu.

In den höchsten Teilen des Nordlichtes, dem Dunst und den homogenen Bögen, soll nach den Beobachtungen von **Paulsen**, **La Cour** und **Carlheim-Gyllenskjöld** nur die grüne Hauptlinie (Geokoronium) auftreten und die Wasserstofflinie verschwunden sein. Ein Analogon besteht in der Sonnenatmosphäre, wo in den Koronastrahlen das Wasserstoffspektrum nur bis etwa 10′ vom Sonnenrand zu beobachten ist, die grüne Koroniumlinie dagegen bis zu 20′.

4. Höhe des Polarlichtes. Die Bestimmung der Höhe des Polarlichtes beruht auf Messung des Höhenwinkels eines besonders hervortretenden Punktes in der Lichterscheinung von den beiden Endpunkten einer Basis aus. Wegen der Unsicherheit bei der Identifizierung der anvisierten Stelle waren die Bestimmungen ungenau. Die gefundenen Höhen variierten zwischen 20 km und 1700 km. Einige Beobachter glauben beobachtet zu haben, daß die Draperien bis zum Erdboden herunterreichen. Vielleicht handelt es sich hierbei aber nicht um die im Nordlicht selbstleuchtenden Luftpartien,

Digitized by Google

sondern infolge einer Täuschung nur um Reflexe an Wolken und Bergen.

Neuerdings hat Störmer durch die bereits erwähnten photographischen Aufnahmen photogrammetrische Höhenmessungen gemacht. Von zwei Stationen im Abstand von 4,3 km, die telephonisch miteinander verbunden waren, wurden gleichzeitige Aufnahmen gemacht. Die photographierten Nordlichter erscheinen auf den Platten in verschiedener Lage gegenüber den durchschimmernden und mitphotographierten Sternen. Mit Hilfe der optischen Konstanten des Objektivs und der bei bekannter Zeit bekannten Lage der Sterne kann hieraus die Höhe der Polarlichter mit großer Genauigkeit berechnet werden.

Die unterste bisher photogrammetrisch bestimmte Höhe liegt bei 38 km, die höchste bei 400 km. Die Farbe der photographierten Nordlichter war weißblau bis gelbgrün. Die Verteilung der gemessenen Höhen auf Höhenstufen von 50 zu 50 km ist folgende:

Höhe in km	0—50	50—100	100—150	150—200	200—250	250—300	über 300
Anzahl der Polarlichter	7	30	64	24	6	5	2

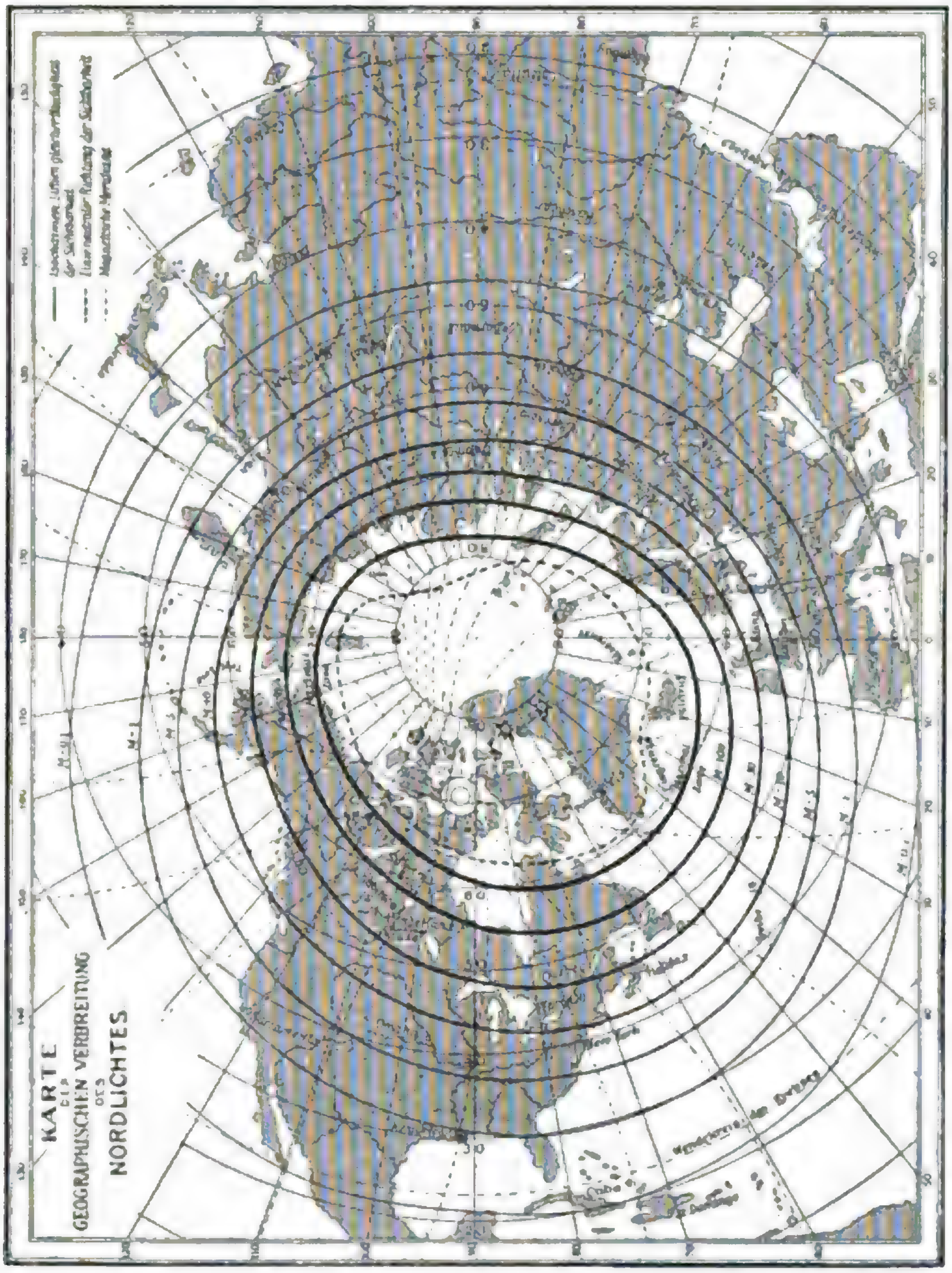


Fig. 5.

Das Maximum liegt also bei 100 bis 150 km, der Luftdruck ist dort im Mittel etwa $^1/_{100}$ mm, die Atmosphäre wird dort enthalten:

ungefähr 67 bis 62	Volum-%	Wasserstoff
4 bis 2	„	Helium
1 bis 0	„	Stickstoff
30 bis 35	„	Geokoronium.

Hiermit stimmt das über das Nordlichtspektrum Gesagte im wesentlichen überein.

5. Verbreitung des Polarlichtes. Die Verbreitung der Polarlichter über der Erde erläutert die Karte für die Nordhalbkugel (Fig. 5).

Die Linien gleicher Nordlichthäufigkeit, Isochasmen, haben ovale Gestalt und umschließen den geographischen und magnetischen Pol. Die Linie größter Häufigkeit führt durch Nordalaska, Kap Tscheljuskin, Nord-Novoja Semlja — Nordnorwegen — südlich an Island und Grönland vorbei zum nördlichen Teil von Labrador. Auf dieser Linie ist die Häufigkeit über 100 pro Jahr. Weiter nach Norden nimmt die Häufigkeit wieder ab; ebenso weiter nach Süden. Schottland hat noch etwa 30, Deutschland etwa 3 pro Jahr und Süditalien nur 1 Polarlicht pro 10 Jahre zu erwarten. Auf der Südhalbkugel ist die Verteilung eine ähnliche, doch weniger genau bekannt. In den Tropen sind die Polarlichter wohl nur ganz ausnahmsweise sichtbar. Das außerordentlich starke Polarlicht vom 25. September 1909 wurde in ganz Australien, auf den Cocosinseln (12° s. Br.), in Batavia (6° s. Br.), Singapore (1° n. Br.) beobachtet.

Die Karte gibt die ungefähre Zahl der mit bloßem Auge jährlich beobachtbaren Polarlichter. Sehr viel häufiger, als diese Zahlen angeben, kann man aber, wie Wiechert in Göttingen festgestellt hat, mit besonders lichtstarkem Spektroskop die grüne Hauptlinie beobachten. Man muß dann eine im Polarlicht leuchtende Schicht annehmen, auch wenn das bloße Auge nur eine kaum merkliche Helligkeit im diffusen Licht des Nachthimmels erkennt, die viel geringer als das Licht der Milchstraße sein kann.

Die Polarlichter sind also durchaus nicht so sehr selten und erhellen zuweilen unsere ganze Atmosphäre, so daß einem Beobachter im Weltenraum die Erde in einem Eigenlicht elektrischen Ursprungs erscheinen kann.

Es ist daher wohl nicht von vornherein ausgeschlossen, daß auch andere Himmelskörper unseres Sonnensystems uns in einem elektrischen Eigenlicht ähnlicher Art erscheinen.

Vielleicht gehört ein Teil der Leuchterscheinung der bei Sonnenfinsternis beobachtbaren Sonnenkorona dazu; ferner bestimmte Lichtwirkungen in den Kometenschweifen. Neuerdings hat Birkeland die Ansicht geäußert, daß auch die Saturnringe Leuchtvorgänge ähnlicher Art seien.

6. Perioden des Polarlichtes. Die zeitliche Häufigkeit des Polarlichtes zeigt eine tägliche, eine 26tägige, eine jährliche und eine 11jährige Periode.

6a) Die tägliche Periode ist wegen der störenden Wirkung des Tageslichtes schwer festzustellen, eigentlich kann sie nur in Polargegenden in der Polarnacht mit Sicherheit ermittelt werden; doch auch dort wechselt selbst dann die Helligkeit im Laufe einer Erdrotation.

Immerhin steht einigermaßen fest, daß in Mitteleuropa abends gegen 8 bis 10 Uhr Ortszeit ein Maximum und vormittags ein Minimum eintritt. Diese Periode verläuft parallel dem täglichen Gange erdmagnetischer Störungen.

6b) Die 26tägige Periode, die einigermaßen sichergestellt ist, steht wohl im Zusammenhang mit der 26tägigen Periode der an den Sonnenflecken gemessenen Sonnentätigkeit. Diese Periode entspricht der Dauer der Rotationszeit der Sonnenoberfläche in der Aequatorgegend.

Auch eine 29tägige Periode will man nachgewiesen haben. Der störende Einfluß der Mondlichtwirkung ist dabei eliminiert worden.

Auch diese Periode steht wohl im Zusammenhang mit der Sonnenrotation. Die tiefer gelegenen Teile der Sonne, deren Rotationsgeschwindigkeit wohl nicht von der heliographischen Breite abhängt, haben vielleicht eine Rotationsdauer von ähnlicher Größe.

6c) Der jährliche Gang zeigt Maxima an den Aequinoxien und Minima an den Solsticien (Fig. 6).

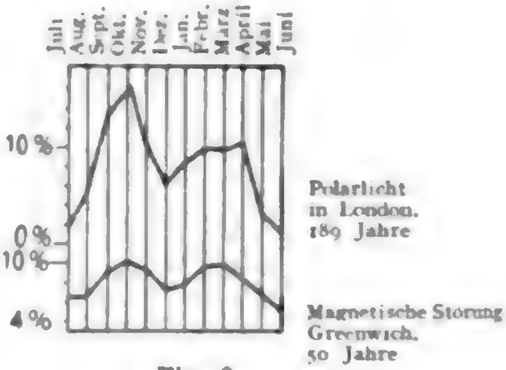


Fig. 6.

In ähnlicher Weise verläuft der jährliche Gang der erdmagnetischen Kraft und zwar sowohl der des normalen Anteils, wie der des Störungsanteils. Im Sonnenfleckenverlauf eines Jahres findet sich dagegen keinerlei Periode von ähnlicher Dauer.

Digitized by Google

Falls wir also in der an den Sonnenflecken gemessenen Sonnentätigkeit die Ursache der Polarlichter erblicken, haben wir in dem jährlichen Verlauf der Polarlichter durchaus ein von dieser Sonnentätigkeit selbst unabhängiges, rein terrestrisches Phänomen vor uns, das sich aus dem Wechsel der Stellung der Erdaxe gegenüber der Sonne erklären läßt.

6d) Recht deutlich erkennbar ist die 11jährige Periode der Polarlichthäufigkeit, die den 11jährigen Schwankungen der Sonnenfleckenhäufigkeit und der erdmagnetischen Kraft folgt. Die folgende Tabelle zeigt die Maxima- und Minimajahre der Sonnenflecken und der Polarlichter (Maxima fettgedruckt).

Sonnenflecken: 17**28**, 34, **39**, 45, **50**, 55, **62**, 67, **70**, 76, **78**, 85, **88**, 98
Nordlichter: 17**30**, 35, **41**, 44, **49**, 55, **61**, 66, **73**, 75, **78**, 83, **88**, 99
Sonnenflecken: 18**04**, 11, **16**, 23, **30**, 34, **37**, 44, **48**, 56, **60**, 67, **71**, 78, **83**, 89, **93**
Nordlichter: 18**05**, 11, **19**, 22, **30**, 34, **40**, 44, **50**, 56, **62**, 66, **71**, 78, **82**, 89, **93**.

Die Figur 7 zeigt den Verlauf der Häufigkeit der Südlichter und der Sonnenflecken für etwa 40 Jahre. Parallel hierzu verlaufen die erdmagnetischen Störungen und die Amplituden der täglichen erdmagnetischen Variationen (vgl. den Artikel „Magnetfeld der Erde").

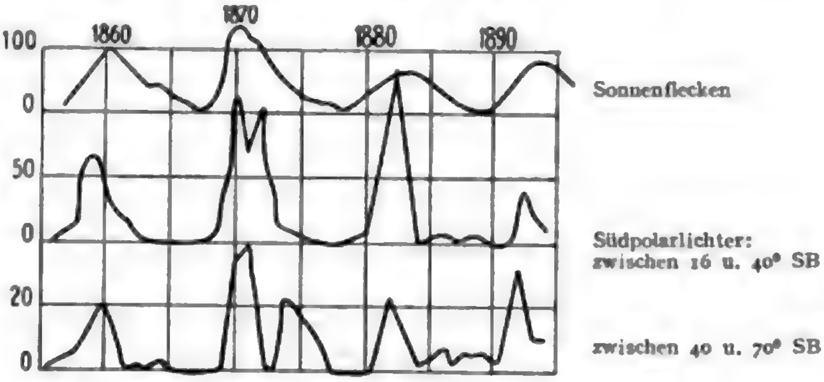


Fig. 7.

7. Beziehung des Polarlichtes zu Sonnenflecken, magnetischen Störungen, Erdstromstörungen und Cirrenbildung. Schon der Vergleich der verschiedenen Perioden der Polarlichter, der Sonnenflecken und der magnetischen Störungen lassen einen ursächlichen Zusammenhang vermuten. Aber nicht nur in der periodischen Verteilung, sondern auch in einzelnen Fällen gibt sich zweifellos zu erkennen, daß diese Naturerscheinungen auf das Engste miteinander verknüpft sind.

So zeigt sich oftmals bei starker Flecken- und Fackelbildung auf der Sonne eine auf der ganzen Erde auftretende magnetische Störung und besonders auf der Abendseite der Erde eine prächtige Polarlichtentfaltung. Gleichzeitig hiermit setzen Erdstromschwankungen von großer Heftigkeit ein, die sich in den Telegraphenleitungen störend bemerkbar machen. So war der außerordentlich heftige Sonnenausbruch am 25. September 1909 mit der seit Jahrzehnten stärksten magnetischen Störung und prächtigsten, bis zum Aequator hin sichtbaren Polarlichtentfaltung verbunden. Gleichzeitig wurden aus allen Gegenden der Erde Störungen in den Telegraphenleitungen gemeldet, die so stark waren, daß ein Telegraphieren zeitweise unmöglich war.

In den hohen Breiten hat man mehrfach die einzelnen Formen und Bewegungen der Polarlichter mit der Richtung und Bewegung der Magnetnadeln verglichen und mancherlei Zusammenhänge gefunden. So stehen die Polarlichtbogen senkrecht zum magnetischen Meridian; die Strahlen verlaufen nahezu in der Richtung der Inklinationsnadel.

Paulsen beobachtete eine Draperie, die im Süden stand und von dort durch den Zenit nach Norden wanderte. Während der Stellung der Draperie im Süden war die Magnetnadel nach Westen, während der Stellung im Norden nach Osten abgelenkt. Dies ist identisch mit der magnetischen Wirkung eines von oben nach unten gerichteten Stromes negativer Elektrizität.

Die Ursache der erdmagnetischen Störungen muß wohl in der magnetischen Wirkung elektrischer Ströme gesucht werden, die in der oberen Atmosphäre verlaufen (vgl. den Artikel „Magnetfeld der Erde"). Van Bemmelen hat nachgewiesen, daß die Störungsvektoren am Ende einer magnetischen Störung — während der sogenannten Nachstörung — an jedem Orte senkrecht zur Richtung der Isochasmen stehen.

Polarlichter und magnetische Störungen sind zweifellos die für uns erkennbaren Erscheinungsformen von Naturphänomenen derselben Art, nämlich von elektrischen Strömen in der oberen Atmosphäre. Es braucht aber deshalb keineswegs ein so naher Zusammenhang zwischen den für uns erkennbaren Intensitäten von Polarlicht und magnetischer Störung zu bestehen, daß wir sie immer einander zuordnen können.

Tatsächlich werden oftmals Polarlichter beobachtet, besonders die hochgelegenen ruhigen Lichterscheinungen, ohne daß die

Digitized by Google

Magnetnadeln irgendwelche besonderen Bewegungen machten. Ebenso traten starke magnetische Störungen auf, ohne daß Polarlichterscheinungen beobachtet wurden. Die Polarlichter werden vielleicht durch elektrische Strömungen hoher Dichte, aber geringen Querschnittes verursacht. Daher haben sie nur eine geringe magnetische Wirkung, die nur dann in die Erscheinung tritt, wenn die Polarlichter nicht allzu hoch liegen. Bei den magnetischen Störungen haben wir dagegen wahrscheinlich elektrische Strömungen geringerer Dichte, aber viel größeren Querschnittes und größerer Gesamtintensität vor uns, die eine größere magnetische Wirkung haben, aber weniger leicht die Luft zum Leuchten bringen.

Vielleicht verlaufen diese Strömungen auch in größeren Höhen, als die Polarlichter liegen. Birkeland berechnet aus der Richtung und Stärke der magnetischen Störungsvektoren an zwei Orten für denselben Augenblick die Höhenlage der störenden Kräfte (elektrischen Stromsysteme) und findet Höhen zwischen 400 und 1100 km.

Es ist mehrfach behauptet worden, daß die Polarlichter Veranlassung geben zur Wolkenbildung, vor allem zur Bildung von Cirren. Vermutet wurde dabei, daß die elektrischen Teilchen, die im Polarlicht auftreten, die Kondensationskerne zur Wolkenbildung abgeben. Nach dem Verschwinden der Polarlichter will man an ihrer Stelle Cirren von gleicher Form beobachtet haben. Zu beachten ist hierbei jedoch, daß die niedrigste, bisher sicher festgestellte Höhe eines Polarlichtes immer noch etwa 30 km höher als die Cirruswolken führende Luftschicht liegt. Andererseits möchte ich darauf hinweisen, daß Birkeland neuerdings nach heftigen magnetischen Störungen auf der Spitze eines Berges außerordentlich starke Ionisation der Luft beobachtete. Die spezifische Leitfähigkeit der Luft wurde 200mal größer als normal gefunden, so daß man hier wohl an einen bis in die Nähe des Erdbodens herabreichenden Einfluß, eine starke Ionisation, glauben möchte. Ob gleichzeitig ein Polarlicht auftrat, ließ sich wegen der Tageshelligkeit nicht ermitteln (Mai 1910, Haldde, Nordnorwegen).

Auch Gewitterwolken sollen sich unter dem Einfluß von Polarlichtern bilden, wie mehrfach berichtet ist, so von Arrhenius, Wasmuth.

8. Theorie des Polarlichtes. Die Erklärung der verschiedenen Erscheinungsformen des Polarlichtes, seiner großen Beweglichkeit, seiner Höhe, seines Spektrums, seiner Verbreitung über der Erde, seiner Perioden und seiner Beziehungen zur Sonnentätigkeit, zum Erdmagnetismus und Erdstrom ist wohl erst in allerjüngster Zeit einigermaßen geglückt. Beobachtungen auf Expeditionen, besonders auf den von Birkeland unternommenen „Polarlichtexpeditionen" nach Bossekop, Island, Spitzbergen, Novoja Semlja, ferner die experimentellen Arbeiten Birkelands, der an einem magnetisierten Erdmodell die Bahnen elektrischer Teilchen in einem solchen Magnetfeld studierte, und schließlich die theoretischen Berechnungen solcher Bahnen durch Poincaré und Störmer haben zusammen eine Theorie des Polarlichtes aufgebaut, die einigermaßen das bisher so rätselhafte Phänomen zu erklären imstande ist.

Danach wird das Polarlicht durch Ströme elektrischer Teilchen erzeugt, die von der Sonne, besonders von ihren Fackeln und Flecken, ausgehen, in die Erdatmosphäre eindringen und dabei durch ihr Aufprallen die Luft zum Leuchten bringen, ganz so wie in dem Lenardschen Versuch die aus einem Aluminiumfenster einer Entladungsröhre in die dichte atmosphärische Luft gelangenden Kathodenstrahlen dieselbe soweit zum Leuchten bringen, bis sie durch Absorption ihr Ende finden. Es ist daher erklärlich, daß die Polarlichter dieselbe 11jährige und 26tägige Periode der Häufigkeit besitzen wie die Sonnenflecken und Fackeln, von denen die Polarlichtstrahlen ausgehen. Die Form der Polarlichter, ihre Anordnung senkrecht oder parallel zum magnetischen Meridian, ferner der Umstand, daß sie in gewisse Zonen der Erde besonders stark eingesogen werden, ist der Wirkung des Magnetfeldes der Erde zuzuschreiben, in dem sich die von der Sonne kommenden elektrischen Teilchen nach bestimmten, uns bekannten Gesetzen, nämlich als Spiralen um die Kraftlinien des Magnetfeldes der Erde, bewegen müssen. Die untere Grenze, bis zu der sie in der Atmosphäre herabreichen, ist durch das von Lenard aufgestellte Absorptionsgesetz bestimmt; das Spektrum der Polarlichter gibt die Zusammensetzung der Luft in der betreffenden Höhe. Die Bewegung der Magnetnadel, wenn eine Polarlichtbande den Zenit passiert, erklärt sich aus der elektromagnetischen Stromwirkung des distinkten Strahles elektrischer Teilchen, der bei seinem Eindringen in die Atmosphäre diese zum Leuchten bringt. Das gleichzeitige Auftreten großer magnetischer Störungen und Polarlichter, auch ohne daß man die einzelnen Phasen der Polarlichter und Störungen einander zuordnen könnte, erklärt sich vielleicht aus der gemeinsamen Ursache, der Sonnentätigkeit, die aber zur Ausbildung verschiedener Stromsysteme Veranlassung gibt. Einmal stellen die von der Sonne ausgehenden Strahlen elektrischer Teilchen, die beim Eindringen in die Erdatmosphäre diese zum Leuchten bringen, selbst elektrische

Digitized by Google

Ströme dar, deren elektromagnetische Wirkung unter günstigen Umständen (Passieren einer Bande in niedriger Höhe) auch an Magnetnadeln wahrgenommen werden kann; andererseits veranlassen die von der Sonne kommenden Schwärme elektrischer Teilchen (die nicht mit den tiefer eindringenden, Nordlichter erzeugenden, vielleicht schnelleren Bündeln identisch zu sein brauchen) eine starke Ionisation der Atmosphäre. Bei Bewegungen dieser hierdurch stark elektrisch leitend gemachten Erdatmosphäre gegen das Kraftliniensystem des erdmagnetischen Feldes entstehen dann Induktionsströme. Die elektromagnetischen Stromwirkungen dieser Induktionsströme sind wohl die Quelle der magnetischen Störungen. Zu beachten ist hier also, daß die Energiequelle der direkten elektromagnetischen Wirkung einer Polarlichtbande von der Sonne stammt; die Induktionsströme dagegen, welche die erdmagnetische Störung erzeugen, werden durch die Bewegung der leitenden Luft gegen das magnetische Erdfeld erzeugt; sie werden also aus einer irdischen Energiequelle unterhalten; nur so kann man die ungeheuere Energie erdmagnetischer Störungen verstehen, deren Größe eine direkte Herkunft von der Sonne von vornherein unwahrscheinlich macht.

Die mit erdmagnetischen Störungen und Polarlichtern gleichzeitigen Erdstromstörungen sind wohl als Induktionswirkungen aufzufassen, welche die in der Atmosphäre auftretenden Ströme im Erdboden erzeugen.

9. Nähere Begründung der Theorie. 9a) Elektrische Eigenschaften der Sonne. Nach der Entdeckung Hales kann man wohl als festgestellt betrachten, daß die Sonnenatmosphäre freie Elektrizität enthält (vgl. den Artikel „Physik der Sonne"). Hale konnte den Zeeman-Effekt in Sonnenflecken beobachten und dadurch Magnetfelder auf der Sonne nachweisen, die sich wohl nur durch Wirbelbewegungen freier (nach Hale negativer) Elektrizität erklären lassen. Auch unsere Kenntnis der Elektrizität von Flammengasen führt zu der Annahme, daß auf der Sonne freie Elektrizitätsmengen vorhanden sind. Danach würden negative Teilchen von der Sonne ausgestoßen, und die glühenden Gasmassen der Sonnenoberfläche besäßen positive Ladung. Ob sich aber auf der Sonne elektrische Felder finden, die den elektrischen Teilchen hohe Geschwindigkeiten erteilen können, ist gänzlich unbekannt. Immerhin ist aber das Vorhandensein radioaktiver Stoffe auf der Sonne möglich, bei deren Zerfall Elektronen hoher Geschwindigkeit ausgestoßen werden. Ob die von der Sonne ausgestoßenen elektrischen Teilchen negative Elektronen oder positive Atomionen sind, ist schwer zu entscheiden, vielleicht werden beide ausgeworfen.

9b) Die Versuche Birkelands. Birkeland ging von der Voraussetzung aus, daß die Sonne Elektronen aussende, die ins Magnetfeld der Erde gelangen und dort die Polarlichter und magnetischen Störungen erzeugen. Er studierte daher experimentell die Bahnen von Kathodenstrahlen im Magnetfeld eines magnetisierten Erdmodells (Fig. 8). Er hatte in einer Vakuumröhre von 0,02 mm Druck in der Bahn eines Kathodenstrahlenbüschels eine „Terella" montiert, die er mit einem Strom von 33 Ampere magnetisieren konnte. Das Verhalten des Kathodenstrahlenbüschels im Magnetfeld studierte er an der Lumineszenzwirkung desselben, auch mit Hilfe von Phosphoreszenzschirmen. Bei geringer Magnetisierung bildete sich in der magnetischen Aequatorebene ein leuchtender Ring (Fig. 8), der sich bei wachsender

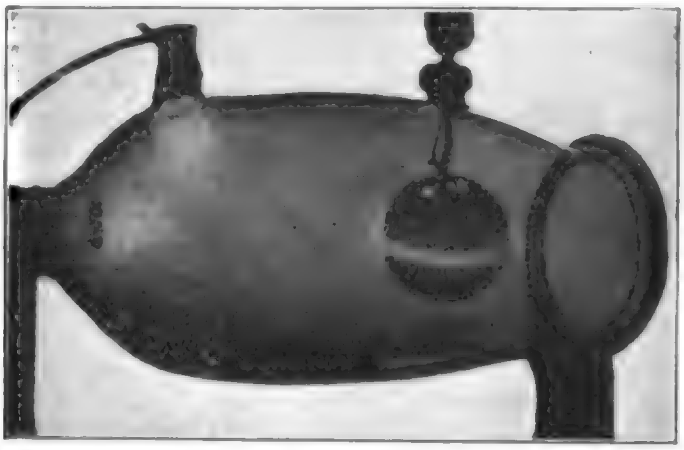


Fig. 8.

Magnetisierung erweiterte; außerdem traten bei stärkerer Magnetisierung zwei leuchtende spiralförmige Gürtel in der Nähe der Pole auf, die sich diesen um so mehr näherten, je stärker die Magnetisierung war (Fig. 9). Die Lichtintensität in diesen Gürteln war nicht gleichmäßig, sondern die Gürtel lösten sich bei starker Magnetisierung in diskrete Lichtflecken auf, die wie Polarlichter über dem Erdmodell standen.

Durch den Vergleich magnetischer Registrierungen von Stationen aus allen Teilen der Erde konnte Birkeland zwei Typen von Störungen unterscheiden, äquatoriale, solche die in den Aequatorgegenden stärker auftraten als in den höheren Breiten, und polare Störungen, die in den höheren Breiten stärker waren als in den Tropen. — In dem leuchtenden Aequatorgürtel seiner Terella erblickte Birkeland das Analogon der äquatorialen Störungen, während die beiden polnahen Gürtel den Sitz polarer Störungen

Digitized by Google

bilden und den Zonen stärkster Polarlichtentfaltung auf der Erde zu entsprechen scheinen. Vielleicht sind Polarlichtbögen Teile dieses Lichtgürtels. Die diskreten Flecken entsprechen vielleicht den Strahlen und Draperien. Der Lichtgürtel in der Aequatorebene der Terella kommt bei der Erde nicht zustande. Der Durchmesser dieses Gürtels ist wohl so groß, daß in solcher Entfernung von der Erde die Dichte der Atmosphäre zu gering für eine Lichtwirkung wird.

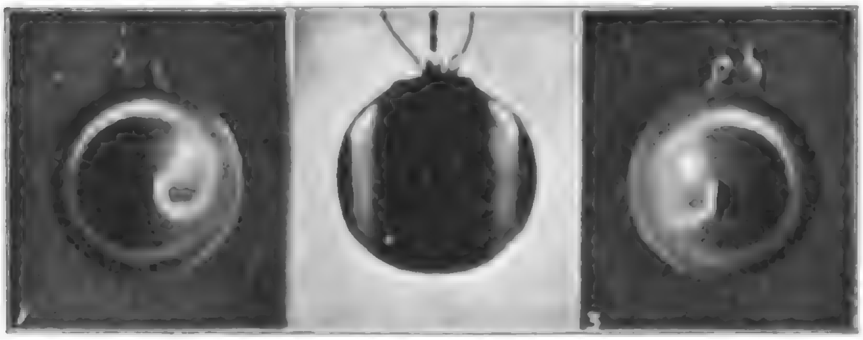


Fig. 9.

9c) Die Berechnungen von Störmer. Zu den gleichen Resultaten, wie die Experimente Birkelands, führten auch die Berechnungen der Bahn eines elektrischen Teilchens im Magnetfeld der Erde durch Störmer.

α) Die Voraussetzungen dieser Bahnberechnungen waren:

1. Vernachlässigt wird die Eigenbewegung von Erde und Sonne während der Zeit der Bewegung des elektrischen Teilchens von der Sonne zur Erde.

2. Die Elektronen sind nur der Kraft des erdmagnetischen Feldes unterworfen, und bewegen sich nach Gesetzen, wie man sie für Kathodenstrahlen im Magnetfeld gefunden hat.

3. Das Magnetfeld der Erde rührt von magnetischen Massen her, die im Erdinnern liegen, so daß man das magnetische Potential im Außenraum durch eine konvergente Reihe von räumlichen Kugelfunktionen (nämlich nach Potenzen von $\frac{R}{r}$ mit Koeffizienten, die Laplacesche Funktionen sind) darstellen kann; in großer Entfernung (10^6 km) kann man das Magnetfeld der Erde als Magnetfeld eines Elementarmagneten betrachten, dessen Moment $= 8{,}52 \times 10^{25}$ magnetischen Einheiten ist und dessen Achse mit der magnetischen Achse der Erde zusammenfällt.

β) Das charakteristische Produkt $H\varrho$. Die Beobachtung der Kathodenstrahlen im Magnetfeld lehrt nun, daß der Krümmungsradius ϱ der Bahn eines Elektrons umgekehrt proportional ist zu $P \sin \omega$, wo P die magnetische Kraft und ω der Winkel zwischen Bewegungsrichtung und Kraftrichtung ist.

Ist nun H_0 die magnetische Kraft in einem Punkte der Bahn, wo diese auf der Kraftrichtung senkrecht steht und ϱ_0 der zugehörige Krümmungsradius, dann ist

$$\varrho P \sin \omega = \varrho_0 H_0 \sin 90^\circ$$

$$\varrho = \frac{H_0 \varrho_0}{P \sin \omega}$$

$H_0 \varrho_0$ ist eine für die Natur des elektrischen Teilchens charakteristische, experimentell zu bestimmende Größe, die von der Masse, Ladung und Geschwindigkeit des Teilchens abhängt

$$\left(H_0 \varrho_0 = \frac{m}{e} v\right)$$

Im cm-g-sec-System variiert

$H_0 \varrho_0$ für Kathodenstrahlen von 100 bis 600,
$H_0 \varrho_0$ für β-Strahlen des Radiums von 1500 bis 5000.
$H_0 \varrho_0$ für Kanalstrahlen von 7500 bis 40000,
$H_0 \varrho_0$ für α-Strahlen des Radiums von 290000 bis 400000.

γ) Die Differentialgleichung der Trajektorie. Die unabhängige Variable s, die Weglänge, sei positiv in Richtung der Bewegung des elektrischen Teilchens (Fig. 10).

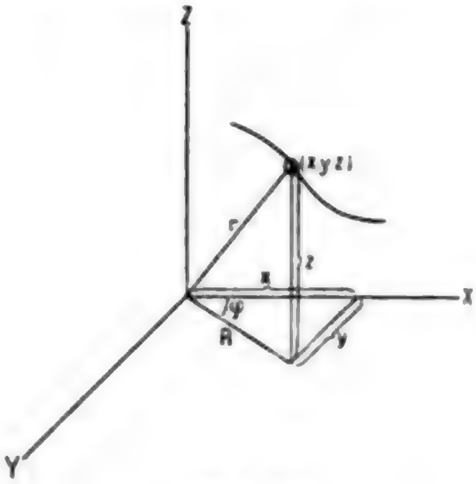


Fig. 10.

Die Richtungskosinus der Tangente sind

$$\frac{dx}{ds}, \frac{dy}{ds}, \frac{dz}{ds}$$

Digitized by Google

Die Richtungskosinus der Hauptnormalen (gegen den Krümmungsmittelpunkt gerichtet) sind

$$\varrho\frac{d^2x}{ds^2},\ \varrho\frac{d^2y}{ds^2},\ \varrho\frac{d^2z}{ds^2}$$

Die Richtungskosinus der magnetischen Kraft P sind

$$\frac{X}{P},\ \frac{Y}{P},\ \frac{Z}{P}$$

wo X, Y, Z die Projektionen von P auf die Koordinatenachsen sind. Es bestehen nun zwischen diesen 9 Richtungskosinus folgende Beziehungen:

$$\pm\varrho\frac{d^2x}{ds^2}=\frac{1}{\sin\omega}\left(\frac{Y}{P}\frac{dz}{ds}-\frac{Z}{P}\frac{dy}{ds}\right)$$

$$\pm\varrho\frac{d^2y}{ds^2}=\dots\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

wobei + für positive und — für negative Ladung gilt. Da nun

$$\varrho=\frac{H_0\varrho_0}{P\sin\omega},$$

so ist

$$\pm H_0\varrho_0\frac{d^2x}{ds^2}=Y\frac{dz}{ds}-Z\frac{dy}{ds}$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

Unter der Voraussetzung, daß das Magnetfeld von einem Elementarmagneten herrührt, der im Koordinatenanfang liegt (in der Z-Achse, Südpol zur positiven Z-Richtung gekehrt), sind X Y Z partielle Ableitungen von $M\frac{z}{r^3}$, wo M das Moment des Elementarmagneten ist. $r^2=x^2+y^2+z^2$.

$$X=-M\frac{3zx}{r^5};\quad Y=-M\frac{3yz}{r^5};$$

$$Z=-M\frac{3z^2-r^2}{r^5}$$

Unsere Formeln gehen für ein negatives Teilchen über in

$$H_0\varrho_0\frac{d^2x}{ds^2}=\frac{M}{r^5}\left[3yz\frac{dz}{ds}-(3z^2-r^2)\frac{dy}{ds}\right]$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

Für ein positives Teilchen muß statt $H_0\varrho_0$ gesetzt werden: $-H_0\varrho_0$, oder —x für x, d. h. die Bahnen positiver Teilchen sind Spiegelbilder der Bahnen negativer Teilchen in bezug auf die yz-Ebene.

Setzt man

$$\sqrt{\frac{M}{H_0\varrho_0}}=c$$

so ist

$$\frac{d^2x}{ds^2}=\frac{c^2}{r^5}\left[3yz\frac{dz}{ds}-(3z^2-r^2)\frac{dy}{ds}\right]$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

Es genügt nun, die Bahn für den Fall $c=1$ zu kennen; denn c bestimmt nur die Dimension, nicht die Form der Bahn.

Setzt man $c=1$ und $x=R\cos\varphi$, $y=R\sin\varphi$ so gelangt man zu den 3 Gleichungen:

$$\frac{d}{ds}\left(R^2\frac{d\varphi}{ds}\right)=-\frac{3R^2z}{r^5}\frac{dz}{ds}-\frac{r^2-3z^2}{r^5}R\frac{dR}{ds}$$

$$\frac{d^2R}{ds^2}=R\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)^2+\frac{r^2-3z^2}{r^5}R\frac{d\varphi}{ds}$$

$$\frac{d^2z}{ds^2}=\frac{3z}{r^5}R^2\frac{d\varphi}{ds}$$

Die rechte Seite der ersten Gleichung ist die Derivierte von $\frac{R^2}{r^3}$, daher

$$R^2\frac{d\varphi}{ds}=2\gamma+\frac{R^2}{r^3},$$

wo γ eine Integrationskonstante ist, die zwischen $+\infty$ und $-\infty$ liegt.

Die jetzt mögliche Elimination von φ führt zu

$$\frac{d^2R}{ds^2}=\frac{1}{2}\frac{\partial Q}{\partial R}$$

$$\frac{d^2z}{ds^2}=\frac{1}{2}\frac{\partial Q}{\partial z}$$

$$\left(\frac{dR}{ds}\right)^2+\left(\frac{dz}{ds}\right)^2=Q$$

$$Q=1-\left[\frac{2\gamma}{R}+\frac{R}{r^3}\right]^2.$$

δ) Diskussion der Gleichung

$$R^2\frac{d\varphi}{ds}=2\gamma+\frac{R^2}{r^3}.$$

$R\frac{d\varphi}{ds}$ ist gleich dem Sinus des Winkels Θ zwischen der Tangente der Bahn und der Ebene durch den Berührungspunkt und der Z-Achse. Aus der Gleichung

$$R^2\frac{d\varphi}{ds}=2\gamma+\frac{R^2}{r^3}$$

folgt darum

$$\sin\Theta=\frac{2\gamma}{R}+\frac{R}{r^3}$$

Da $\sin\Theta$ immer zwischen —1 und +1 liegt, so können in dem Raumbereich, in dem $\frac{2\gamma}{R}+\frac{R}{r^3}<-1$ oder >1 ist, keine Trajektorien bestehen. Die Trajektorien können also den Raum Q_γ für den $-1<\frac{2\gamma}{R}+\frac{R}{r^3}<1$ nicht verlassen.

Alle möglichen Trajektorien bilden eine

Digitized by Google

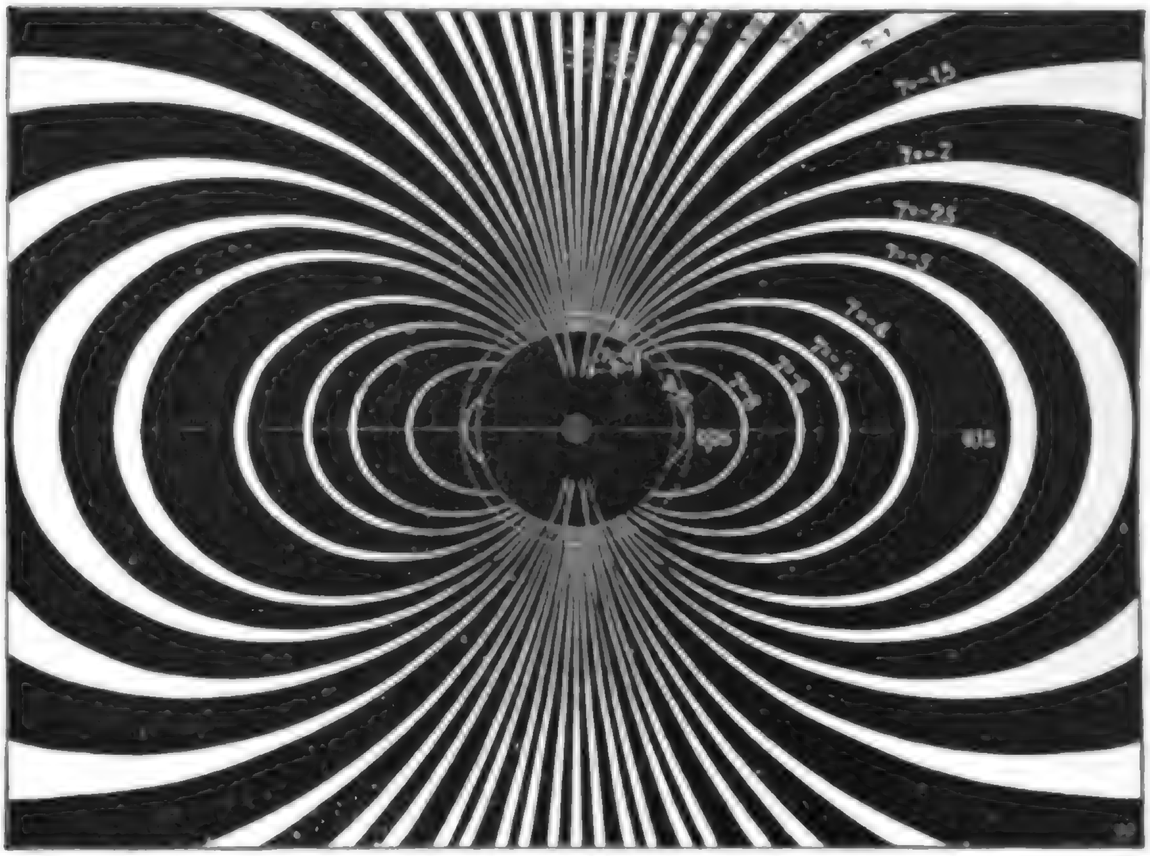


Fig. 11.

unendliche Anzahl von Familien, jede Familie ist charakterisiert durch eine bestimmte Größe von γ.

Die Figur 11 zeigt für verschiedene Werte von γ die Räume Q_γ, in denen sich die Trajektorien bewegen. Die weißen Flächen in der Figur ergeben durch Rotation um die magnetische Achse die Räume Q_γ. Die punktierte Gerade bezeichnet die magnetische Aequatorebene.

Wenn man nun die bei der Erde obwaltenden Verhältnisse berücksichtigt, wird man finden, daß für Polarlichter auf der Erde nur bestimmte Räume Q_γ in Betracht kommen. Für den Fall, daß wir es mit Kathodenstrahlen zu tun haben, wird $H_0\varrho_0$ im Mittelwert = 315, c = 5200000 km, die Entfernung $\frac{\text{Erde — Sonne}}{c} = \frac{150000000}{5200000} = 28{,}84$.

Der Radiusvektor Erde—Sonne bildet mit der Aequatorebene der Erde Winkel von + 23,5° bis —23,5°. Die magnetische Achse der Erde bildet mit der Rotationsachse der Erde einen Winkel von 11,5°, also der Radiusvektor Erde—Sonne mit der magnetischen Aequatorebene der Erde den Winkel ψ von + 35° bis — 35°. Die Theorie zeigt nun, daß der Winkel ψ zwischen dem Radiusvektor nach einem Punkt der Trajektorie im Abstand 28,84 c und der magnetischen Aequatorebene für bestimmte Werte von γ nahezu bestimmte Größe besitzt, und zwar liegt er bei den Werten ψ_γ, die in folgender Zusammenstellung angegeben sind:

γ =	— 0,1;	— 0,2;	— 0,3;	— 0,5;	— 0,7;	— 0,8;	— 0,85;	— 0,9;	— 0,92;
ψ_γ =	52,6°;	35,6°;	21,5°;	— 3,4°;	— 20,1°;	— 14,9°;	— 3,2°;	15,3°;	8,8°;
				— 0,926;	— 0,9285;	— 0,93;			
				— 5,2;	— 15,2;	— 13,2.			

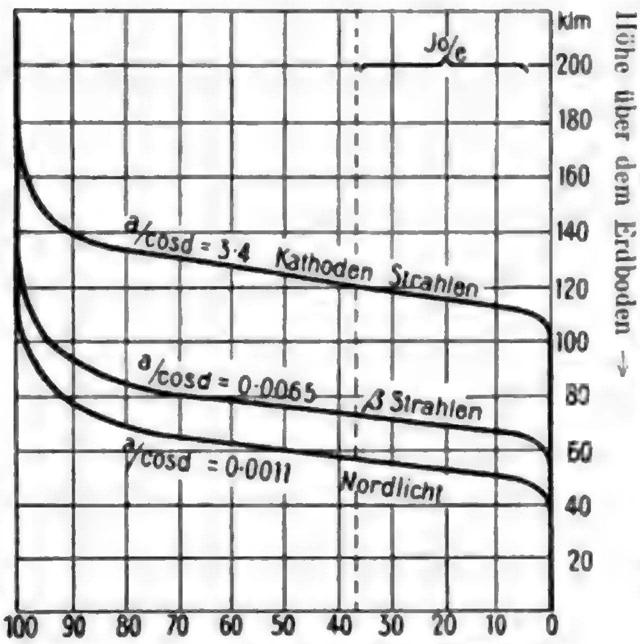
Die Elektronenstrahlen in den Räumen Q_γ für γ zwischen 0 und — 0,2 können hiernach nicht zur Erde gelangen, da ψ für die Erde—Sonne nie über 35° wächst. Für andere Werte von $H_0\varrho_0$ ist das Resultat nicht wesentlich verschieden.

Ein weiterer Teil der Trajektorien kommt für Polarlichtbeobachtungen deshalb nicht in Betracht, weil diese Trajektorien die Tagseite der Erde treffen; es sind dies Strahlen für die $\gamma > -0{,}5$.

9d) **Lage der Zonen größter Häufigkeit.** Die Betrachtung der theoretisch berechneten Bahnen zeigt nun eine große

Digitized by Google

Uebereinstimmung mit den von Birkeland experimentell gefundenen. Die Figur 11 zeigt, daß die theoretisch berechneten Strahlen in besonderen Zonen besonders stark eingesogen werden. Es sind Gürtel um den



← J = Strahlungsintensität

Fig. 12.

magnetischen Nord- und Südpol. Sie werden begrenzt durch Kreise, deren Mittelpunkte auf den magnetischen Achsen der Erde liegen. Die beiden äquatornahen Kreise, die die Grenze der beiden Zonen zu den niederen Breiten hin bilden, werden gebildet durch den Schnitt der inneren Grenzfläche des Raumes Q_γ für $\gamma = -1$ mit einer mit der Erde konzentrischen Kugel, die die Grenze der Atmosphäre darstellt. Die polare Begrenzung der beiden Zonen wird durch den Schnitt derselben konzentrischen Kugel mit der Grenzfläche des Raumes Q_γ für $\gamma = -0{,}5$ gebildet. Die Größe der zum Aequator hin gelegenen Grenzkreise ergibt sich aus

$$\sin\alpha = \sqrt{2\frac{\Delta}{c}},$$

wo Δ der Abstand des Erdmittelpunktes von diesen Kreisen ist = 7000 km und α der Winkel zwischen der magnetischen Achse der Erde und der Verbindungslinie des Erdmittelpunktes mit einem Punkt des obigen Kreises.

Für Kathodenstrahlen $2{,}3^0 < \alpha < 3{,}4^0$.
„ β-Strahlen des Radiums $4{,}6^0 < \alpha < 5{,}8^0$.
„ α-Strahlen „ „ $16{,}6^0 < \alpha < 18{,}1^0$.

Für die polnahen Grenzkreise gilt $\sin\beta = \sqrt{\frac{\Delta}{c}}$, wo β analoge Bedeutung wie α hat.

Für Kathodenstrahlen $1{,}6^0 < \beta < 2{,}4^0$.
„ β-Strahlen des Radiums $3{,}2^0 < \beta < 4{,}1^0$.
„ α-Strahlen „ „ $11{,}6^0 < \beta < 12{,}7^0$.

Theoretisch ergeben sich also schmale Zonen von einigen Grad Breite. Die Erfahrung ergibt für die Lage des Maximums der Polarlichthäufigkeit einen Polabstand von ungefähr 20^0.

Wenn wir es im Polarlicht mit negativen Teilchen zu tun haben, ist hier eine große Diskrepanz zwischen Theorie und Erfahrung. Die Gründe hierfür sind wohl folgende:

1. Die Voraussetzung der Rechnung, daß wir bei der Erde das Feld eines Elementarmagneten haben, ist nicht zutreffend. Eine genauere Berücksichtigung der Art des Feldes beseitigt jedoch bei weitem nicht die Diskrepanz.

2. Der Einfluß, den die verschiedenen Trajektorien, wenn sie gleichzeitig beschritten werden, aufeinander ausüben, ist vernachlässigt worden. Besonders wird der Ring in der Aequatorebene die Trajektorie der zu den Polzonen eilenden Teilchen derart beeinflussen, daß α sich vergrößert. Bei einem Radius des Kreises in der Aequatorebene von 923000 km, der dem Wert $H\varrho = 10000$ entspricht, und bei einer Stromstärke von 2×10^6 Amp. wird für gewöhnliche Kathodenstrahlen $\alpha_c = 8^0{,}22'$, also verdreifacht. Der magnetische Effekt eines solchen Ringes würde auf der Erde 0,00002 cm.g.s.-Einheiten betragen.

3. Es besteht durchaus die Möglichkeit, daß die elektrischen Teilchen, die von der Sonne ausgestoßen werden, größere Geschwindigkeit besitzen als selbst die β-Strahlen des Radiums. Bei größerer Geschwindigkeit würde die magnetische Ablenkbarkeit kleiner, ϱ und damit $H\varrho$ größer und $\sqrt{\frac{M}{H\varrho}} = c$ kleiner, und also α aus $\sin\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta}{c}}$ größer.

Einem Wert von $\alpha = 20^0$ entspricht $H\varrho = 0{,}6 \times 10^6$.
Einem Wert von $\alpha = 25^0$ entspricht $H\varrho = 1{,}4 \times 10^6$.
Einem Wert von $\alpha = 30^0$ entspricht $H\varrho = 2{,}7 \times 10^6$.

Einem Werte $H\varrho = 10^6$ würde allerdings eine Geschwindigkeit der Strahlen entsprechen die selbst die Geschwindigkeit der β-Strahlen erheblich übertrifft. Für β-Strahlen ist die Geschwindigkeit gleich $^2/_3$ Lichtgeschwindigkeit; für Strahlen $H\varrho = 10^6$ wäre die Geschwindigkeit gleich 0,99 Lichtgeschwindigkeit. Es erheben sich hier Bedenken, ob solche Geschwindigkeiten an Elektronen wirklich bestehen, und ob auf der gut leitenden Sonnenoberfläche die zur Erzeugung so großer Geschwindigkeit not-

Digitized by Google

wendigen starken elektrischen Kraftfelder vorhanden sein können.

Es bleibt allerdings durchaus möglich, daß radioaktive Stoffe auf der Sonne vorhanden sind, die bei ihrem Zerfall solche rapid laufende Strahlen entsenden. Man könnte sich denken, daß im Sonneninnern unter dem ungeheueren Druck von Millionen Atmosphären sich Atome von noch größerer Masse als die des Uranatoms, des schwersten der Erde, gebildet haben, die nur unter diesen großen Drucken existenzfähig sind und bei dem Hervorbrechen der Eruptionen aus dem Innern der Sonne an die Oberfläche gelangen und dabei die rapiden Strahlen entsenden.

9e) **Absorption der Strahlen in der Erdatmosphäre.** Für die Existenz so hoher Geschwindigkeiten der Nordlichtstrahlen spricht nach **Lenard**, daß die Absorption derselben erst in 40 km Höhe vollendet wird (untere Grenze des Polarlichtes). Es ist das mit dem Luftdruck proportionale Absorptionsvermögen $\alpha = ae^{-bh}$, wo a das Absorptionsvermögen der Luft von einer Atmosphäre Druck bedeutet, ferner h die Höhe und $b = \frac{\text{spez. Gewicht der Luft}}{\text{Druck}}$ $= 0{,}1238 \times 10^{-5}\ \text{cm}^{-1}$.

Weiter ist $dJ = \frac{\alpha J dh}{\cos\vartheta}$, wo ϑ der Winkel zwischen dem Polarlichtstrahl und der Normalen und J die Intensität bedeutet

$$dJ = \frac{ae^{-bh} J dh}{\cos\vartheta}$$

$$J = J_0 e^{-\frac{a}{b\cos\vartheta} \cdot e^{-bh}}.$$

Den Verlauf dieser Funktion zeigt Figur 12 (vorige Seite), wobei $J_0 = 100$ gesetzt ist und J für 3 Werte von $\frac{a}{\cos\vartheta}$ berechnet wurde, und zwar für

$\frac{a}{\cos\vartheta} = 3{,}4$ ($a = 3{,}4\ \text{cm}^{-1}$; $\vartheta = 0$; Kathodenstrahlen; $^1/_3$ Lichtgeschwindigkeit).
$= 0{,}0065$ ($a = 0{,}0065\ \text{cm}^{-1}$; $\vartheta = 0$; β-Strahlen; $^2/_3$ Lichtgeschwindigkeit).
$= 0{,}0011$ ($a = 0{,}0011\ \text{cm}^{-1}$; $\vartheta = 10^0 =$ Inklination in Bossekop; Nordlichtstrahlen; 0,99 Lichtgeschwindigkeit).

Aus dem Verlauf der Kurven folgt, daß beim Einfall von Strahlen elektrischer Teilchen in die Atmosphäre sich der wesentliche Teil der Absorption und damit das Leuchten der Luft auf eine bestimmte Höhenschicht beschränkt. Die Dicke dieser Schicht beträgt etwa 30 km mit einer verwaschenen, etwa weitere 20 km dicken Grenze nach oben und einer sehr scharfen Grenze nach unten. Das paßt gut auf die Polarlichtform der herabhängenden Draperien, die nach unten scharf begrenzt, nach oben verwaschen sind. Die Höhenlage der Schicht variiert mit dem Absorptionskoeffizienten und dem Einfallswinkel. Je weniger absorbierbar, also je schneller die Strahlen sind und je steiler sie einfallen, um so tiefer liegt die Schicht. Für Kathodenstrahlen liegt die stärkste Absorbierbarkeit bei 120 km (Wendepunkt der Kurve); tiefer herab, etwa bei 115 km Höhe würden die Kathodenstrahlen die Luft nicht mehr zum Leuchten bringen. Für β-Strahlen liegt die stärkste Absorbierbarkeit bei 70 km. Für Nordlichtstrahlen ist die dritte Kurve analog zu den beiden anderen gezeichnet, derart, daß sie bis zur niedrigsten gemessenen Höhe, 38 km, herabreicht. Sie hat bei 53 km ihr Absorptionsmaximum. Setzt man für diese Kurve der Polarlichtstrahlen $\vartheta = 10^0$ (Inklination in Bossekop, wo die Höhe 38 km gemessen wurde), so verlangt diese Kurve für a einen Wert von $0{,}0011\ \text{cm}^{-1}$. Dieser geringe Wert von a deutet darauf hin, daß die Nordlichtstrahlen Kathodenstrahlen von etwa 0,99 Lichtgeschwindigkeit sind. Wenn von der Sonne auch positive Teilchen ausgesendet werden, was bei radioaktiven Prozessen zu erwarten wäre, so werden diese gröberen Strahlen sicher schon in weit größerer Höhe absorbiert werden. In den untersten Polarlichterscheinungen haben wir daher wohl Strahlen negativer Teilchen zu (Elektronen) erkennen, was ja auch mit der beobachteten magnetischen Wirkung der Draperie stimmt.

9f) **Auftreten der Polarlichter an der Nachtseite der Erde.** Durch numerische und graphische Integration der Bewegungsgleichung konnte **Störmer** für eine große Anzahl von Fällen die Bahnen der Teilchen von der Sonne bis zur Erde bestimmen und in einem Modell darstellen (Fig. 13).

Die Betrachtung der Figur 13 ergibt, daß einige Bahnen nur wenig durch das

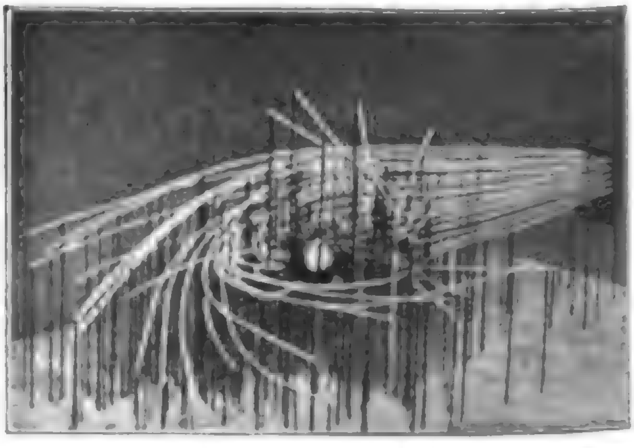


Fig. 13.

Digitized by Google

erdmagnetische Feld abgelenkt werden, andere dagegen eine derartige Krümmung im Magnetfeld der Erde erfahren können, daß sie die Atmosphäre auf der Nachtseite der Erde treffen. Dadurch erklärt sich der bisher rätselhafte Umstand, daß Strahlen von der Sonne auf die Nachtseite der Erde gelangen. Es ist dazu nur nötig, daß der Wert für c groß genug, also der für $H\varrho$ klein genug ist. Da $H\varrho$ mit der Masse der elektrischen Teilchen wächst, so ist es unwahrscheinlich, daß die auf der Nachtseite der Erde auftretenden Polarlichtstrahlen durch geladene, von der Sonne kommende Tröpfchen oder Stäubchen gebildet werden (wie es eine Theorie von Arrhenius verlangt). Bei ihnen würde $H\varrho$ wegen der Masse der Teilchen so groß sein, daß die erdmagnetische Kraft nicht ausreichen würde, um sie soweit abzulenken, bis sie die Nachtseite der Erde träfen.

Wir sehen in Figur 13 Bahnen, die bis zur Erde herabreichen und senkrecht zur Erdoberfläche stehen; darin haben wir wohl die Strahlen und Bänder zu erkennen; andere Bahnen werden nur zur Erde herabgebogen, streifen also die Atmosphäre nur, ungefähr parallel zur Oberfläche verlaufend und sich dann wieder entfernend. Dies sind vielleicht die Polarlichtbögen.

Die Uebereinstimmung der berechneten Bahnen mit den experimentell gefundenen zeigt besonders Figur 13a, in der links die Birkelandsche Terella bei starker Magneti-

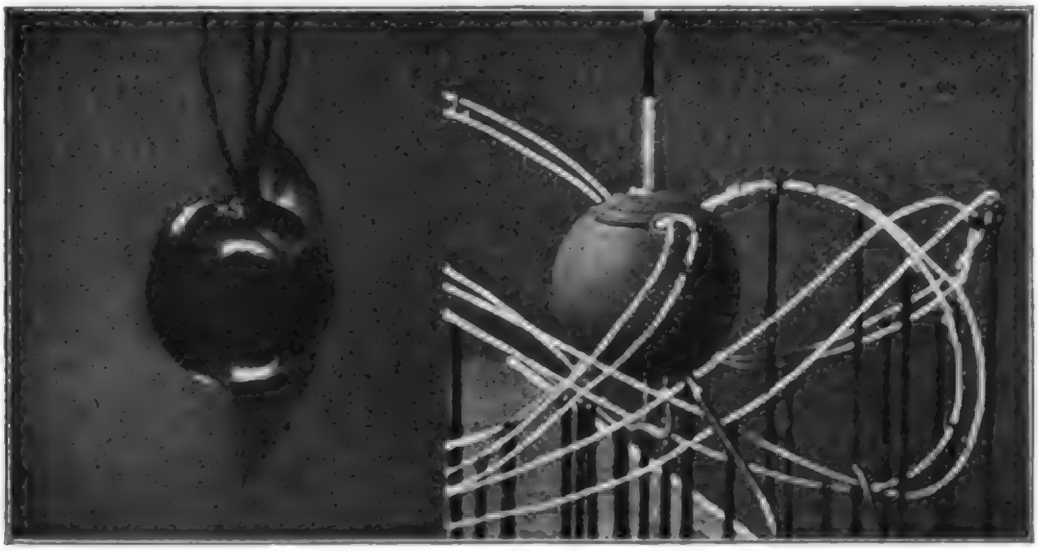


Fig. 13a.

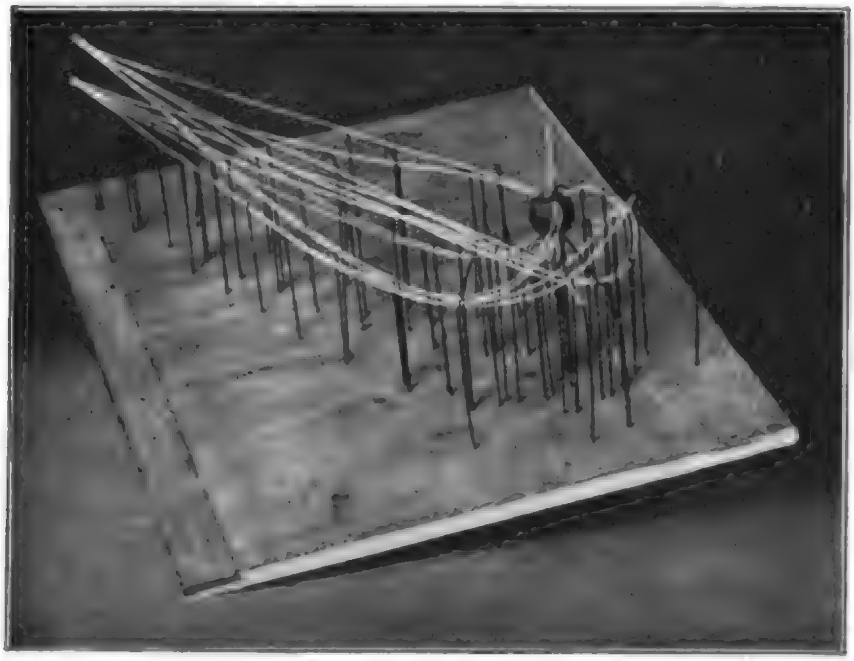


Fig. 14.

Digitized by Google

sierung die distinkten Lichtflecken in der Polarlichtzone zeigt, und rechts die Störmerschen Bahnen, die die Erde treffen, dargestellt sind.

9g) Beweglichkeit der Polarlichter. Nur Strahlen, die in bestimmter Richtung die Sonne verlassend in den Aktionsbereich des erdmagnetischen Feldes gelangen, können die Erdatmosphäre treffen. Die Anfangsrichtung dieser Strahlen hängt in hohem Maße von der Lage des Aktionszentrums auf der Sonne in bezug auf die magnetische Aequatorebene der Erde ab. Erde und Sonne rotieren um sich selbst, wobei die magnetische Achse der Erde um die Rotationsachse rotiert; sodann bewegt sich die Erde noch um die Sonne. Dadurch tritt eine fortwährende und schnelle Aenderung der gegenseitigen Lage von Aktionszentrum auf der Sonne (Sonnenfackel) und magnetischer Achse der Erde ein. Figur 14 zeigt, wie sehr sich die Bahnen verschieben, wenn das Emanationszentrum nur wenig verschoben wird. Das schnelle Aufleuchten und Verschwinden, die Unruhe der Polarlichter, bei denen Strahl nach Strahl über den Himmel hingleitet, wird hierdurch verständlich.

Aus der Rotation von Erde und Sonne folgt die Möglichkeit (nicht die Notwendigkeit) der oft beobachteten Wiederholung von Polarlichtern und magnetischen Störungen nach Ablauf einer Rotationsdauer (24 Stunden oder 26 Tage). Die inzwischen eingetretene Intensitätsschwankung im Aktionszentrum der Sonne, und die Bewegung von Sonne und Erde, kann dabei natürlich eine Veränderung im Verlauf des Phänomens bei der Wiederholung verursachen, kann es verstärken oder bis zum Verschwinden abschwächen.

9h) Die Dimensionen der Strahlen. Figur 15 zeigt die Bahn eines Elektrons im erdmagnetischen Feld, eine Spirale um eine Kraftlinie des erdmagnetischen Feldes. Die Spirale verengt sich bei der Annäherung an das Magnetfeld der Erde. Das Elektron erfährt beim Eintritt in die Atmosphäre eine Bremsung und bringt die Luft zum Leuchten. Der Durchmesser der Spirale entspricht dem Durchmesser des entstandenen Polarlichtstrahls. Nach der Theorie ist die Breite eines solchen Strahles gleich der Breite des Raumes Q_j, gleich $\frac{\varDelta^3}{c^2}$; für $\varDelta = 6500$ km ergibt sich für Kathodenstrahlen bei $H\varrho = 108$ bis 543 eine Breite von 3,5 m bis 17,5 m;

für β-Strahlen bei $H\varrho = 1801$ bis 4524 eine Breite von 58 m bis 146 m;

für α-Strahlen bei $H\varrho = 291000$ bis 398000 eine Breite von 9380 m bis 12850 m;

für Nordlichtstrahlen bei $H\varrho = 1000000$ eine Breite von 32000 m.

Carlheim-Gyllenskjöld fand als Breite der Polarlichtstrahlen 10′ bis 3°. Das ist für

40 km Höhe 110 m bis 2100 m,

400 km Höhe 1100 m bis 21000 m,

also gleiche Größenordnung.

Störmer bestimmte Februar 1911 die Breite eines Nordlichtbogens photogrammetrisch zu 30000 m.

Fig. 15.

9i) Die Dimensionen der Draperien. Die Form und Dimension der Polarlichter ist von der Größe der Ausstrahlungsfläche auf der Sonne abhängig. Durch das magnetische Feld der Erde werden die Strahlen in lange flache Bänder ausgezogen. Für bestimmte Größe des Ausstrahlungszentrums auf der Sonne ε gibt die Theorie bestimmte Länge und Breite der Bänder (Draperien), so für Kathodenstrahlen von $H\varrho = 315$.

	Breite	Länge
$\varepsilon =$ 1″	15 m	20 km
10″	26	65
1′	46	160
3′	72	275

Für Kathodenstrahlen von $H\varrho = 10^6$ würde die Breite etwa 8 mal größer. Verlassen die Strahlen das Emanationszentrum unter voneinander ein wenig abweichenden Richtungen, so ist damit die Möglichkeit gegeben, daß sich in der Erdatmosphäre mehrere Draperien hintereinander bilden. Durch die gegenseitige Bewegung von Sonne und Erde

Digitized by Google

werden die Lagen, die für das Zustandekommen von Draperien günstig sind, schnell durchlaufen. Dies erklärt die schnelle Veränderlichkeit der Draperien. Die Lage mehrerer Draperien hintereinander läßt sich auch auf andere Weise, bei Annahme positiver Nordlichtstrahlen erklären. Schon die scharfe Umgrenzung der schmalen Bänder deutet auf eine Homogenität der Strahlung, wie sie wohl bei α-, nicht aber bei β-Strahlen des Radiums gefunden wird. Da beim Radiumzerfall sowohl Radium wie auch RaA, Emanation, RaC, RaF ein homogenes Bündel α-Strahlen aussendet, so würden diese im Magnetfeld der Erde zu den hintereinanderliegenden Draperien wie zu einem magnetischen Spektrum auseinander gezogen. Die gleichförmige und gleichzeitige Bewegung paralleler Nordlichtdraperien, die beobachtet wurde, erklärt sich dann ungezwungen.

10. Zusammenfassung. Das Polarlicht ist wahrscheinlich die Luminiszenz der Luft infolge des Durchgangs von elektrischen Teilchen, die von der Sonne ausgestoßen werden und durch das Magnetfeld der Erde in besondere Bahnen gezwungen werden. Die Gestalt der Bahnen läßt sich unter Annahme möglicher Geschwindigkeit der Teilchen berechnen und mit der Erfahrung über die Lage der Häufigkeitszone, Auftreten an der Nachtseite, Dimension von Bogen, Strahlen und Draperien gut in Einklang bringen (Theorie Birkeland-Störmer).

Das Spektrum weist auf bestimmte Höhenlagen des Polarlichtes, die mit den photogrammetrisch ermittelten und aus dem Absorptionsgesetz für eine sehr schnelle Strahlung berechneten übereinstimmen. Die 26- und 29tägige, sowie 11jährige Periode erklärt sich aus dem Zusammenhang mit der Sonnentätigkeit; die tägliche und jährliche aus der Lage der Bahn der Teilchen zur Erdachse und Aequatorebene; der Zusammenhang mit dem Erdmagnetismus und Erdstrom zum Teil aus der gemeinsamen Abhängigkeit von der Sonnentätigkeit, zum Teil aus der direkten magnetischen Stromwirkung der Teilchenbahn; die Beweglichkeit der Polarlichter aus dem großen Einfluß der gegenseitigen Bewegung von Erde und Sonne auf die Bahn der Teilchen. Die Frage, ob positive oder negative Teilchen von der Sonne ausgestoßen werden, ob Elektronen- oder α-Strahlen, ist noch nicht entschieden.

Für Elektronenstrahlen spricht die magnetische Wirkung der Draperie (leider liegen darüber nur recht wenig Beobachtungen vor); ferner verlangt die geringe Höhe der niedrigsten Polarlichter eine solche Durchdringungsfähigkeit und daher solch enorme Geschwindigkeit, wie sie wohl höchstens bei Elektronen möglich ist. Bei Annahme dieser außerordentlichen Geschwindigkeit stimmt auch die theoretisch berechnete Lage der Häufigkeitszone auf der Erde mit der Erfahrung überein. Für α-Strahlen spricht der Umstand, daß schon bei Annahme der normalen Geschwindigkeit von α-Strahlen des Radiums die hieraus errechneten Häufigkeitszonen ungefähr mit der Erfahrung stimmen würden. Ferner die Struktur der Draperien, die auf eine Homogenität der Strahlung deutet, die eher bei α-Teilchen zu finden ist.

Trotzdem sich mancherlei Bedenken gegen die obige Birkeland-Störmer'sche Theorie erheben, erklärt sie doch viele Erscheinungen ungezwungen. Eine bessere Erklärung der vorliegenden Beobachtungen ist bisher nicht gelungen.

Literatur. *Zusammenfassende Darstellungen finden sich bei* **Arrhenius**, *Kosmische Physik 1903. —* **Nippoldt**, *Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht 1903, und kleinere in den Lehrbüchern der Physik, Meteorologie und Astronomie. Die Beobachtungen finden sich meist in den Berichten der Polarexpeditionen. Einzelne Arbeiten in der meteorolog. und physikalischen Zeitschrift, in „Terrestrial Magnetism and atmospheric Electricity", und in „Nature". — Die Arbeiten* **Birkelands** *in „The norvegian Aurora polaris Expedition 1902/03", Cristiania 1908, ferner als Mitteilungen in Comptes rendus in den Videnskabs Selskabets Skrifter Cristiania. —* **Störmers** *Arbeiten ebenfalls dort und in den Archives des sciences physiques et naturelles, Genève.*

G. Angenheister.

Poli

Giuseppe Saverio.

Geboren am 24. Oktober 1746 in Molfetta, gestorben am 7. April 1825 in Neapel. Studierte in Padua Medizin und Naturwissenschaft, vervollständigte seine Studien auf mehreren großen nordeuropäischen Universitäten und wurde später Professor in Neapel. Er war Mitglied der Royal Society in London und der italienischen Akademie. Er zeichnete sich besonders aus durch sein 1791 bis 1795 erschienenes Werk „Ueber die Schaltiere beider Sizilien", worin er die Mollusken nach ihrer Bewegungsart in armtragende, kriechende und hüpfende (entsprechend den Cephalopoden, Gastropoden und Acephalen) einteilte. In seinen hauptsächlich streng systematischen Arbeiten hat er viele Mühe auf die sorgfältige Schilderung der einzelnen Arten verwandt. Seine Gattungsnamen sind nicht immer den Linnéschen entsprechend. Auch den Echinodermen wandte er sein Interesse zu. Noch heute ist sein Name in den Polischen Blasen des Wassergefäßsystems erhalten. Ein besonderes Verdienst hat er sich noch dadurch erworben, daß er der damals vorherrschenden Naturphilosophie kritisch entgegentrat. Von seinen Arbeiten seien hier genannt: Elementi della fisica sperimentale, Napoli, 3 vol., 5. Aufl. 1822, 5 Bd.; Ragio-

Digitized by Google

namento intorno allos tudio della natura, Napoli 1781; Testacea utriusque Siciliae eorumque historia et anatomia; Parma 1791 bis 1795, 2 vol.

Literatur. ***Giampaolo,*** *Elogio di S. Poli, Napoli 1825.* — ***Tibaldo,*** *Biogr. degli Italiani illustri III; Nouv. Biogr. générale. tom. 39. 1862.*

W. Harms.

Polymorphismus

nannte Mitscherlich die Erscheinung, daß chemisch-stöchiometrisch gleich zusammengesetzte Körper in verschiedenartigen Kristallen mit verschiedenen geometrischen, physikalischen (und auch chemischen) Eigenschaften kristallisieren können. Dimorphismus, Trimorphismus bei zwei oder drei Modifikationen. Polymorphismus der Elemente = Allotropie (Berzelius). Vgl. den Artikel „Kristallchemie".

Polymorphismus.

1. Wesen und verschiedene Formen des Polymorphismus. 2. Polymorphismus als Folge der Metagenesis: a) In Verbindung mit Stockbildung bei Cölenteraten. b) Stöcke und polymorphe Individuen bei Bryozoen. c) Stöcke der Tunicaten. d) Polymorphismus in Verbindung mit Teilung und Knospung bei Anneliden. 3. Polymorphismus als Folge der Heterogonie. 4. Polymorphismus bei rein geschlechtlicher Fortpflanzung.

1. Wesen und verschiedene Formen des Polymorphismus. Unter Polymorphismus versteht man die Erscheinung, daß die Individuen ein und derselben Tierart unter verschiedener Gestalt auftreten. Ist dies nur in zweierlei Form der Fall, so pflegt man diesen besonderen Fall des Polymorphismus als Dimorphismus zu bezeichnen. In dieser Beziehung sei an die am meisten verbreitete Erscheinung der auch äußerlich verschiedenen Ausbildung beider Geschlechter (Geschlechtsdimorphismus) oder das Auftreten in Gestalt oder Färbung differenter Generationen zu verschiedenen Jahreszeiten (Saisondimorphismus) erinnert. Diese oder andere im Artikel „Dimorphismus" behandelte Erscheinungen stehen zwar mit dem eigentlichen Polymorphismus in engen Beziehungen, doch hat man sich gewöhnt, die letztere Bezeichnung auf diejenigen Erscheinungen zu beschränken, bei welchen eine weitergehende, d. h. eine mehr als zweifache Verschiedenheit der Individuen einer Tierart vorhanden ist. Ihre Ursachen können differente sein, doch befinden sie sich immer in mehr oder weniger direktem Zusammenhang mit der Art der Fortpflanzung bei der betreffenden Tierspezies; danach kann man unterscheiden: 1. Polymorphismus bei Metagenesis; 2. bei Heterogonie und 3. bei rein geschlechtlicher Fortpflanzung. Da der erstgenannte die betreffenden Erscheinungen am charakteristischsten zum Ausdruck bringt, lassen wir ihn vorangehen.

2. Polymorphismus als Folge der Metagenesis. Der echte Generationswechsel (Metagenesis) besteht in einer Aufeinanderfolge von ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Generationen. Zeigen die Individuen dieser Generationen differente Gestalt, so ist damit schon ein Polymorphismus gegeben, wenn er auch gewöhnlich nicht so bezeichnet wird. Man pflegt also den Dimorphismus von Polyp und Meduse nicht so zu nennen, obwohl kaum etwas dagegen einzuwenden wäre. — Wenn die auf ungeschlechtlichem Wege, durch Teilung oder zumeist durch Knospung entstandenen Individuen nicht zur Lösung voneinander gelangen, so kommt es zur Bildung von Kolonien, speziell von Tierstöcken (vgl. den Artikel „Tierstöcke"). Die Individuen dieser Kolonien können gleichartig sein; von größerem Vorteil für sie ist es jedoch, wenn zwischen ihnen eine Arbeitsteilung eintritt, etwa in der Art, daß einige von ihnen die Ernährung übernehmen, während andere die Verteidigung, Fortbewegung, Fortpflanzung und sonstige Verrichtungen besorgen. Aus dieser Spezialisierung der Funktionen ergibt sich dann von selbst eine solche der Gestalt, d. h. die mit einer bestimmten Verrichtung betrauten Individuen bringen die für die betreffende Funktion besonders geeigneten Teile zu einer besseren Ausbildung, während andere, minder geeignete mehr zurücktreten. Daraus resultiert unter Umständen eine mehr oder weniger weitgehende Veränderung ihrer ganzen Gestalt. Ein derartiger Polymorphismus tritt bei vielen knospenden und stockbildenden Tieren, besonders bei Coelenteraten, Bryozoen und Tunicaten auf, wobei zu bemerken ist, daß die betreffenden Individuen gewöhnlich die Fähigkeit der Fortpflanzung verlieren. Diesem mit Sterilität einer Anzahl Individuen verbundenen Polymorphismus werden wir auch bei der Heterogonie wieder begegnen. Zur Erläuterung der charakterisierten Erscheinungen dürften am besten einige Beispiele aus den genannten Abteilungen des Tierreichs dienen.

2a) Polymorphismus in Verbindung mit Stockbildung bei Coelenteraten. Daß die Knospung zur Koloniebildung und diese zum Polymorphismus führt, wurde bereits erwähnt; Knospung und Stockbildung sind aber bei den Coelenteraten außerordentlich häufig. Unsere bekannten Süßwasserpolypen (Hydra viridis, H. fusca usw.) pflanzen sich durch Knospung fort, allerdings lösen sich bei ihnen die Knospen bald vom Muttertier und eine Stockbildung unterbleibt; jedoch

Digitized by Google

ist sie bei ihren marinen Verwandten, den übrigen Hydroidpolypen, sehr verbreitet. Die Hydroidenstöckchen sind an den Meeresküsten eine bekannte Erscheinung. Zumeist bestehen sie aus einer großen Zahl gleichartiger Individuen, welche an den Zweigen eines mehr oder weniger verästelten Stockes sitzen (vgl. den Artikel „Coelenterata"). Jedoch können einzelne Individuen des Stockes eine von den anderen abweichende Form annehmen, indem sie sich in die Länge strecken, dadurch eine schlauchförmige Gestalt erhalten und den Mund wie die Tentakel verlieren. Sie erscheinen mit Nesselkapseln dicht besetzt und führen wurmartige, schlängelnde den Polypen sonst fremde Bewegungen aus (Spiralzoide Fig. 1). Offenbar dienen sie als „Wehrpolypen" dem Stock zur Verteidigung, während andere von stachel- oder säulenartiger Gestalt, die sogenannten „Schutzpolypen" schützende Funktion für die übrigen den Stock bildenden Polypen (Nährpolypen oder Hydranthen) haben dürften. Alle diese Individuen sitzen dem Wurzelgeflecht auf (Fig. 1).

Bei manchen ihrer Funktion entsprechend modifizierten Individuen ist die ursprüngliche Gestalt, wie z. B. bei den Wehrpolypen, noch nicht so stark verändert, daß ihre Zurückführung auf diese nicht leicht möglich wäre; bei den Schutzpolypen der Podocoryne ist es schon schwieriger (Fig. 1) und ebenso gilt dies für die sogenannten Nematophoren anderer Hydroidpolypen. Dies sind keulen- oder auch nur knopfförmige Gebilde, die sich aber in die Länge strecken und dann weit aus der (sie ganz wie den Polypen schützenden) kelchartigen Hülle vorgestreckt werden können (Fig. 2). Sie sind reich mit Nesselkapseln, den mikroskopisch kleinen Schutzwaffen der Coelenteraten besetzt, dienen also ebenfalls zur Verteidigung des Stockes. Außerdem kommt der Polymorphismus bei den Hydroidpolypen besonders in Verbindung mit der Fortpflanzung zum Ausdruck. Viele von ihnen lassen besondere Geschlechtstiere (Medusen, Gonophoren usw.) durch Knospung an ihrem Stock entstehen und dies kann an besonderen, ebenfalls in ihrer Gestalt veränderten Individuen, den sogenannten Gonanthen oder Blastostylen geschehen (Fig. 1), während die vorher genannten spezialisierten Individuen die Fähigkeit sowohl der ungeschlechtlichen wie geschlechtlichen Fortpflanzung verloren haben. Der Gegensatz zwischen sterilen und fortpflanzungsfähigen Individuen spielt also bei dieser wie mancher folgenden Form des Polymorphismus eine große Rolle. — Wenn sich die Gonanthen noch mit einer besonderen Hülle, der Gonotheca, umgeben und dadurch ein sogenanntes Gonangium zustande kommt, tritt die Gestaltsveränderung des die Geschlechtstiere erzeugenden Individuums noch mehr hervor (Fig. 3). Den stärksten Ausdruck findet der Polymorphismus der Hydroidpolypen jedoch in der stark abweichenden Gestalt, welche die Geschlechtstiere selbst und ihre verschiedenen Modifikationen (als Medusen, Gonophoren, Sporosacs usw.) erlangen.

In dem Bestreben, die Geschlechtstiere von der den Polypen eigentümlichen festsitzenden Lebensweise zu befreien und dadurch den auf geschlechtlichem Wege von ihnen erzeugten Nachkommen eine bessere Verbreitung zu sichern, wurden einzelne Individuen der Kolonie mit Tentakeln, Muskeln, Sinnesorganen, Nerven und was sonst noch dazu gehört, besser ausgestattet so daß sie schließlich zu einer freischwimmenden Lebensweise übergehen konnten. Man ist geneigt die Meduse mit ihrer glockenförmigen Körpergestalt, dem Mundstiel, muskulösem Randsaum, langen Tentakeln, Ra-

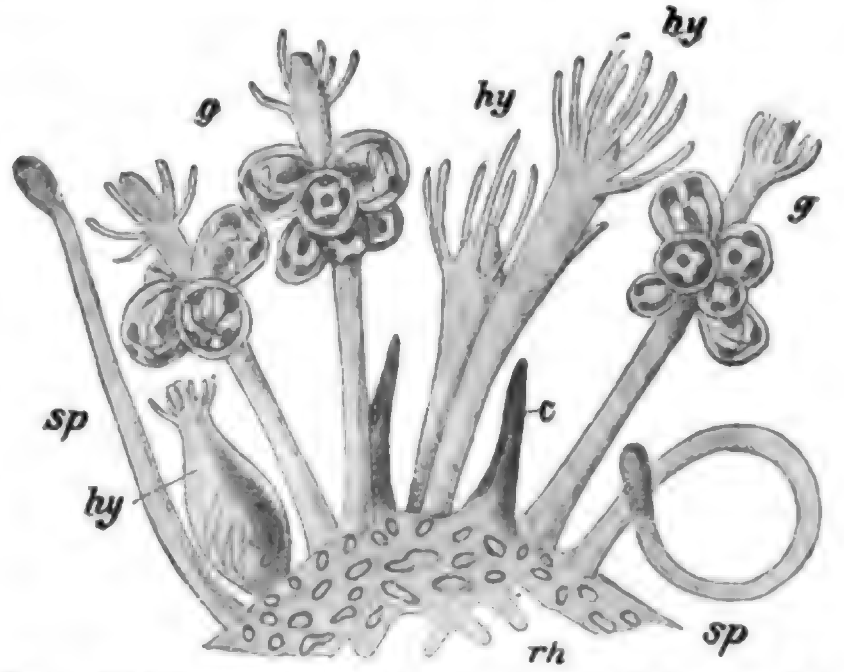


Fig. 1. Stöckchen von Podocoryne carnea mit Hydranthen (hy), Gonophoren erzeugenden Polypen (Gonanthen, g), Spiralzoiden (sp) und Schutzpolypen (c) auf der Hydrorhiza (dem Wurzelgeflecht). Nach Grobben.

diärkanälen usw. (vgl. Fig. 4) auf diese Weise aus dem Polypen entstehen zu lassen. Jedenfalls läßt sie sich unschwer auf ihn zurückführen und wie gesagt sieht man sie fortwährend (durch Knospung) aus ihm hervorgehen (Fig. 4). Aber die zu freiem Leben bestimmten Medusen können nachträglich wieder sessil werden, d. h. nicht zur Loslösung gelangen, sondern dauernd mit dem Stock verbunden bleiben, wobei sie nicht nur eine verschiedene Form annehmen, sondern auch die beim freien Leben nötigen Organe wie Tentakel, muskulösen Randsaum, Sinnesorgane, Mundstiel, Kanalsystem u. a. verlieren, um schließlich zu wenig differenzierten, sackförmigen Geschlechtsgemmen zu werden, wodurch also der Polymorphismus dieser Tiere noch eine weitere Vervollständigung erfährt.

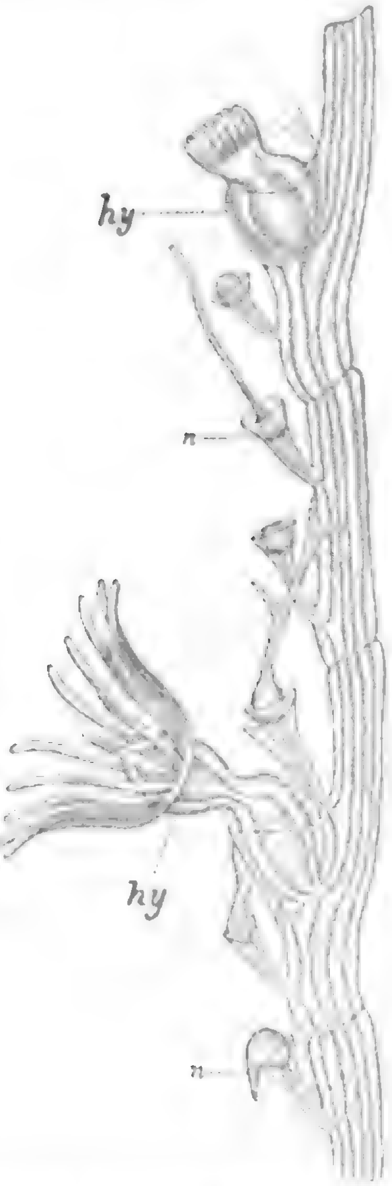


Fig. 2. Zweig von Antennularia antennina mit Nährpolypen (Hydranthen, hy) und Nematophoren (n) im eingezogenen und ausgestreckten Zustand. Nach Allman.

Noch weitgehender ist der Polymorphismus und seine höchste Vollkommenheit

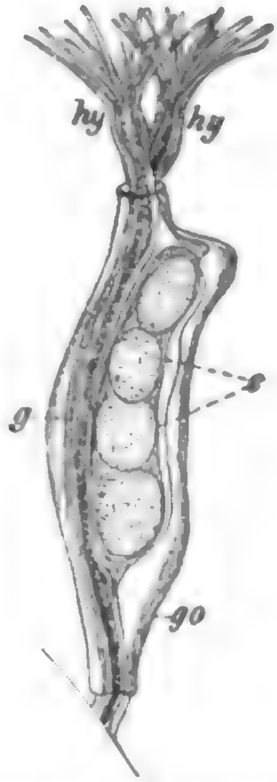


Fig. 3. Gonangium von Halecium halecinum mit Eiern (e) am Gonanthen (g) und zwei ihm aufsitzenden Nährpolypen (Hydranthen, hy), go Gonotheca. Nach Allman.

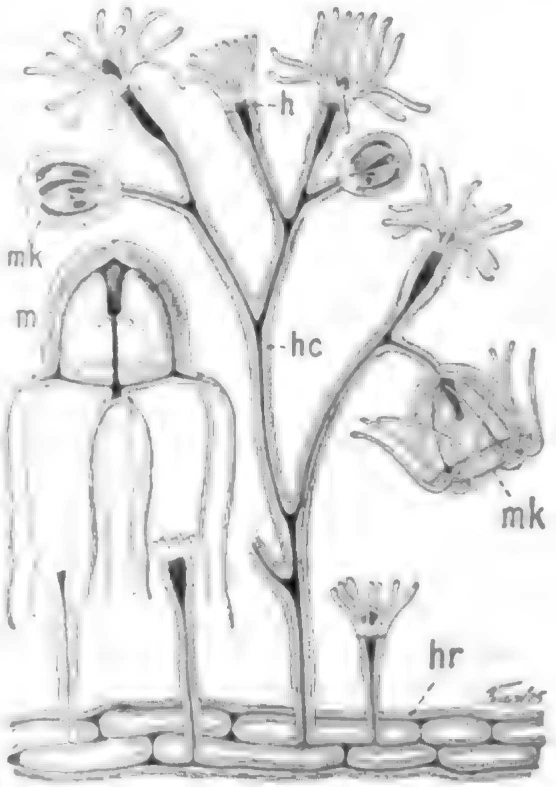


Fig. 4. Stöckchen von Bougainvillea ramosa auf der Hydrorhiza (hr) mit Hydrocaulus (hc), Hydranthen (h), Medusenknospen (mk) und abgelöster Meduse (m). Nach Allman.

Digitized by Google

erlangt er im Organismus der mit den Hydropolypen nahe verwandten Siphonophoren (Schwimmpolypen oder Röhrenquallen). Die große Verschiedenartigkeit ihrer Individuen und die auf dieser Vielgestaltigkeit beruhende starke Differenzierung ihrer freischwimmenden Stöcke erklärt sich ebenfalls aus der Verwandlung der bei den Hydroiden vorhandenen zweierlei Individuen, Polypen und Medusen, die aber hier eine noch weiter gehende Umgestaltung erfahren. Wie dort liegt ebenfalls ein (hier schlauchförmiger) Stamm zugrunde, an welchem die verschiedenen Individuen befestigt sind und durch Knospung entstanden. Das Stammende bildet der Pneumatophor (Luftblase oder Luftsack), vielleicht eine umgewandelte Meduse (Fig. 5), weiterhin Nährpolypen und die als solche entstandenen mundlosen Taster, lange Senkfäden mit Nesselknöpfen und Nesselbatterien, mehr oder weniger veränderte, zu Gonophoren und Geschlechtsgemmen gewordene Medusen, welche letzteren übrigens bei einigen Sinophoren noch zur Loslösung und zu freierem Leben wie bei den Hydroiden gelangen können. So stellt sich der Sinophorenstock mit seinen sehr zahlreichen Individuen fast wie ein einheitlicher Organismus dar, bei welchem die Individuen des Stockes als dessen Organe die verschiedenen Verrichtungen besorgen, die Polypen die Ernährung, Pneumatophor und Schwimmglocken die Bewegung, Deckstücke, Taster und Senkfäden den Schutz, die Orientierung und Verteidigung, die Gonophoren die Fortpflanzung usf. Herzuleiten dürften diese hochdifferenzierten Kolonien von Hydroidenstöckchen sein, welche eine freischwimmende Lebensweise erlangten, wie man in der Tat einige solche, bereits durch ein freies Leben ausgezeichnete Hydroidpolypen kennt, z. B. Margelopsis Haeckeli und Pelagohydra mirabilis, welche zahlreiche Medusen an sich durch Knospung hervorgehen lassen.

2b) Stöcke mit polymorphen Individuen bei Bryozoen. Wie bei den Hydroidpolypen, so findet auch bei den ihnen im äußeren Habitus so ähnlichen Bryozoen (Moostierchen) nicht selten eine ziemlich weitgehende Arbeitsteilung zwischen den Individuen des Stockes statt. Bezüglich der durch Knospung entstandenen Stöcke selbst verweisen wir auf den Artikel „Bryozoen". Wie dort ausgeführt wird, können die Individuen des Stockes ganz gleichartig sein; bei anderen Bryozoen jedoch werden

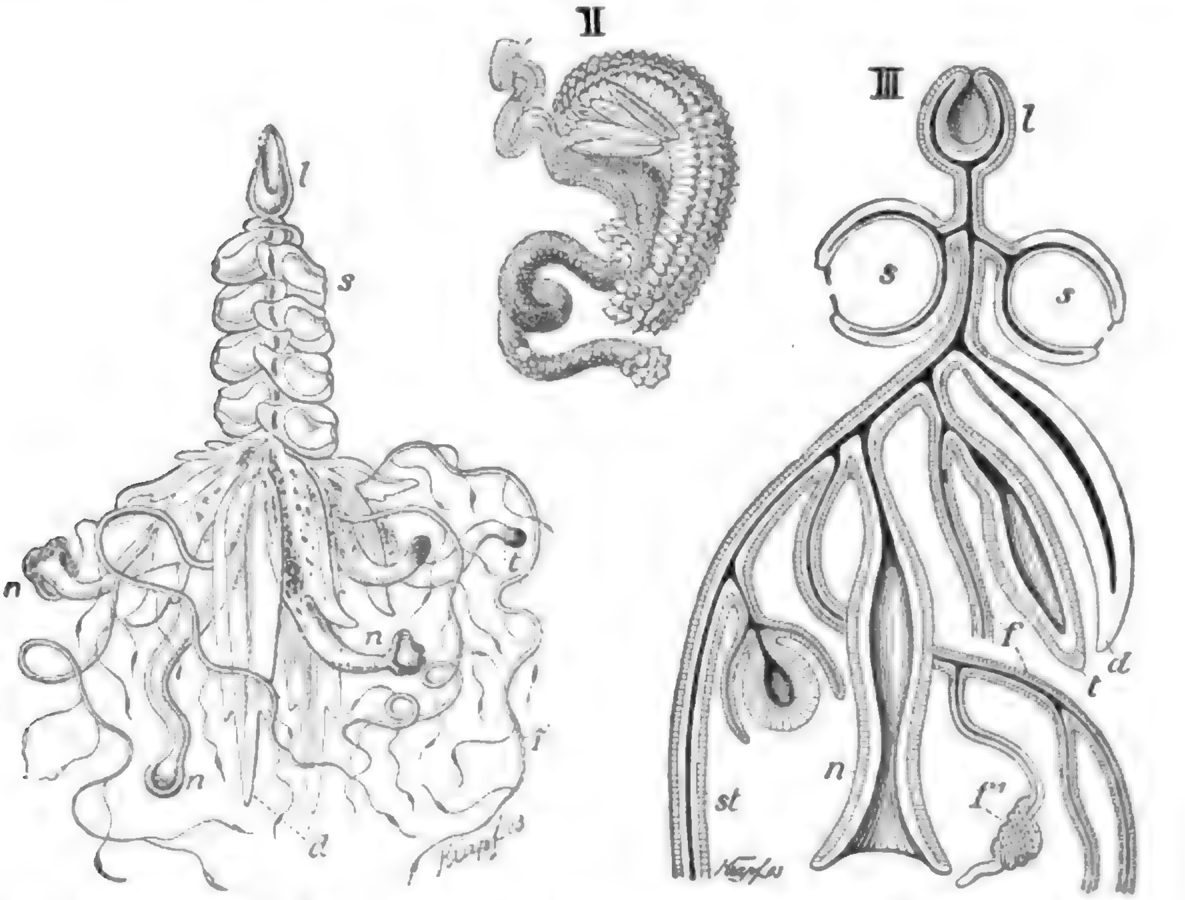


Fig. 5. Siphorenstöcke (I Nectalia, III Physophoride, schematisiert, II Nesselkopf) zur Erläuterung der Zusammensetzung aus den verschiedenen Individuen. Nach E. Haeckel. d Deckstücke, f Fangfäden mit Nesselknöpfen (f'), l Luftblase (Pneumatophor), n Nährpolyp, s Schwimmglocken, st Stamm, t Taster, im Schema (III) links vom Nährpolyp ein Gonophor.

Digitized by Google

einzelne Individuen zu bestimmten Verrichtungen verwendet und nehmen dementsprechend eine oft recht abweichende Gestaltung an. So wachsen die Knospen unter Umständen zu einem ziemlichen Umfang heran, bringen aber den Tentakelapparat und Darmkanal nur zu unvollständiger Ausbildung oder entbehren dieser Einrichtung vollständig; diese meist zylinderförmigen, als Caularien bezeichneten Individuen sind zur Stütze der Kolonie in Stamm und Wurzel bestimmt. Andere zwischen den Individuen des Stockes verteilte Tiere haben dadurch eine ungemein charakteristische Gestalt angenommen, daß sie durch Verwendung gewisser Teile zu Vogelkopf ähnlichen Gebilden wurden, den sogenannten **Avicularien** (Fig. 6). Eine deckelartige oder dem

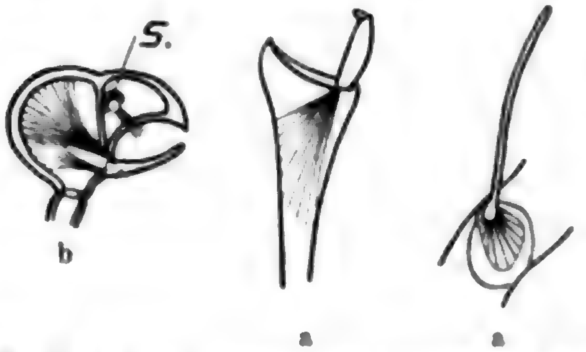


Fig. 6. a zwei verschiedene Avicularien, links von Bugula, rechts von Bicellaria, b Vibracularie von Scropucellaria; s Sinnesorgan. Nach Delage und v. Buddenbrock.

Unterkiefer des Schnabels vergleichbare Vorrichtung erlaubt infolge des Vorhandenseins starker Muskeln das Zuklappen und Festhalten von Gegenständen. Diese noch mit einem Sinnesorgan versehenen Individuen dürften wie die hauptsächlich zu einer starken Geißel ausgezogenen Vibracularien (Fig. 6) zur Verteidigung des Stockes und wohl noch anderen Verrichtungen dienen. Zur Brutpflege hingegen werden die als Oöcien oder Ovizellen bezeichneten Individuen verwendet. Unter starker Rückbildung ihrer ganzen Organisation stellen diese Individuen flaschen- oder sackförmige Brutkapseln dar, welche in ihrem Inneren die Eier zur Entwickelung bringen oder die Larven beherbergen (vgl. den Artikel „Bryozoa"). Die genannten spezialisierten Individuen pflegen gewöhnlich steril und dadurch ebenfalls von den übrigen Individuen unterschieden zu sein.

2c) Polymorphe Individuen an den Stöcken der Tunicaten. Bei den durch ungeschlechtliche Fortpflanzung und in Verbindung damit durch Stockbildung ausgezeichneten Manteltieren ist die Neigung zum Polymorphismus im ganzen weniger entwickelt. Gewöhnlich handelt es sich dabei um eine etwas differente Ausgestaltung der sich auf geschlechtlichem oder ungeschlechtlichem Wege vermehrenden Individuen. Dazu kann ein Zurückbleiben mancher Knospen in der Entwickelung oder eine Aufspeicherung von Nährsubstanz in ihnen kommen, wodurch sich Ruheknospen und Nährkammern herausbilden, wie dies bei manchen Ascidien der Fall ist. Als besonders weitgehend ist dieser Polymorphismus weder bei den Ascidien noch bei den Salpen zu bezeichnen, während dies allerdings bei den Dolioliden in viel höherem Maße der Fall ist. Bei Doliolum erzeugt die aus dem Ei des Geschlechtstieres (Gonozoids) hervorgegangene geschwänzte Larve (Oozoid) an ihrem Bauchfortsatz (Ventralstolo) eine große Anzahl Knospen, welche nach dem Rücken des Muttertieres (der sogenannten Amme) wandern, um sich an ihrem Rückenfortsatz in bestimmter Anordnung festzusetzen. Hier entwickeln sie sich zu dreierlei verschiedenen Formen: den Lateralsprossen (Gasterozoiden), Mediansprossen (Phorozoiden) und Geschlechtsknospen (Gonozoiden). Die beiden ersteren sind weder zur ungeschlechtlichen noch zur geschlechtlichen Fortpflanzung fähig, sondern dienen hauptsächlich zur Ernährung und Atmung, weshalb die Lateralzoide eine sehr vereinfachte Gestalt und Organisation besitzen. Die weniger veränderten Phorozoide tragen als eigentliche Ammen an ihrem Ventralfortsatz die Geschlechtstiere, zu deren Aufziehen sie bestimmt sind. Wenn letztere die nötige Größe und Reife erlangt haben, bringen sie die Geschlechtsprodukte hervor und aus ihren Eiern entsteht, wie schon oben bemerkt wurde, eine geschwänzte Larve, womit der Zyklus von neuem beginnt. Bezüglich dieser recht komplizierten Verhältnisse sei auf den Artikel „Tunicata" verwiesen, hier sollte nur der dabei auftretende Polymorphismus betont werden.

2d) Der Polymorphismus in Verbindung mit Teilung und Knospung bei Anneliden. Der Polymorphismus erscheint hier weniger ausgeprägt als bei den vorhergehenden Tierformen. Bei der ungeschlechtlichen Fortpflanzung der Anneliden pflegen die durch Teilung entstandenen Individuen morphologisch und generativ gleichwertig zu sein, doch kommt es bei ihnen, besonders bei den Sylliden, auch dazu, daß bestimmte Individuen sich ausschließlich der ungeschlechtlichen Fortpflanzung widmen und gegenüber den von ihnen erzeugten Individuen eine abweichende Gestalt und Organisation zeigen. Die einer terminalen Knospung ähnelnde Teilung erfolgt am Hinterende jener ungeschlechtlichen Tiere und da sie zur Bildung dimorpher Männchen und Weibchen führt, diese aber wieder vom Muttertiere different sind, so hat

Digitized by Google

man es mit einem, freilich nicht sehr weitgehenden Polymorphismus zu tun. Dieser ist in ähnlicher Weise bei der lateralen oder ventroterminalen Knospung anderer Sylliden vorhanden, bei denen es sich um das Hervorknospen männlicher und weiblicher Tiere an den Seiten oder am Hinterende des monogenetischen Individuums handelt, welches beim letzteren Vorgang ein ganzes Bündel von Geschlechtstieren am Schwanz trägt.

3. Polymorphismus als Folge der Heterogonie. Unter diese Rubrik fällt eine Erscheinung, welche den im Lebensgang der Art auftretenden Polymorphismus insofern weniger deutlich hervortreten läßt, als er nur durch die Differenz in Gestalt und Fortpflanzungsweise der Individuen aufeinander folgender Generationen zum Ausdruck kommt, nämlich die Heterogonie der Trematoden. In den bisher besprochenen Fällen, zumal bei dem Generationswechsel der Coelenteraten, Bryozoen und Tunicaten treten die polymorphen Individuen gleichzeitig und nebeneinander auf, wodurch ihre Verschiedenheit besonders deutlich zutage tritt, und zwar häufig auch dann noch, wenn es sich um aufeinander folgende Generationen handelt. Dies gilt auch für den zuletzt besprochenen Fall der Anneliden. Bei den Trematoden (Saugwürmern) — wir halten uns an den bekannten Fall des Leberegels (Fasciola hepatica) — bringt das hermaphroditische geschlechtsreife Tier Eier hervor, die aus dem Darm des Wirtstieres (Schafes), in welchem das Distomum lebt, nach außen gelangen, um hier eine im Wasser frei bewegliche Flimmerlarve (das Miracidium) aus sich hervorgehen zu lassen. Die Larve wandert in eine Schnecke ein, in deren Gewebe sie zu einem Keimschlauch, der sogenannten

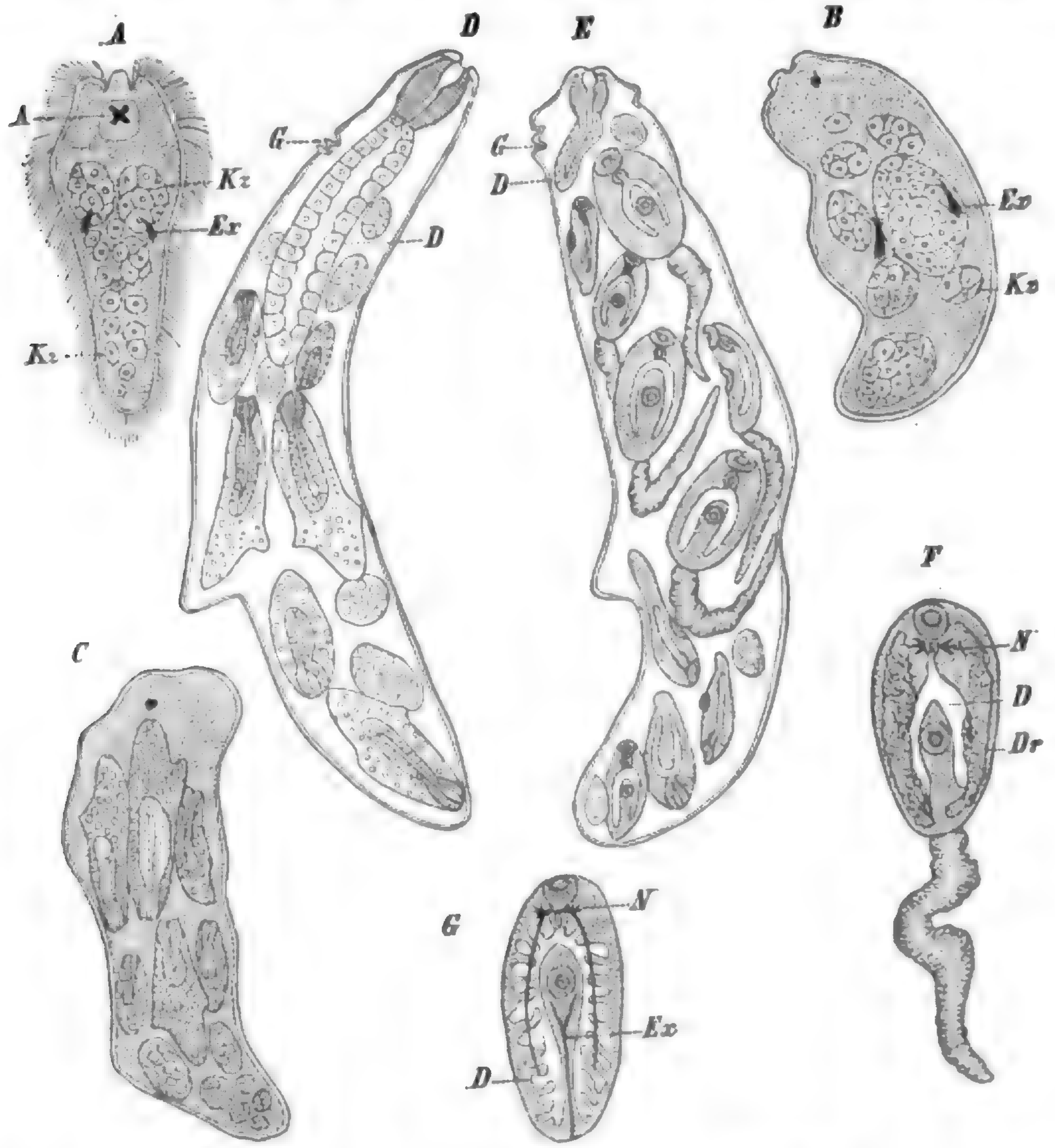


Fig. 7. Entwickelungszyklus von Fasciola hepatica. A Miracidium mit Augenfleck (A), B u. C Sporocyste, D u. E Redie, F Cercarie, G junges Distomum, D Darm der Redie und des Distomum, Dr Drüsen im Körper der Cercarie, Ex Exkretionsorgane, G Geburtsöffnung der Redie, Kz Keimzellen, N Nervensystem.

Digitized by Google

Sporocyste heranwächst (Fig. 7 A, B). Da diese sich fortpflanzt, so hat man es in ihr mit einer zweiten abweichend gestalteten Generation zu tun und eine dritte folgt, indem die Sporocyste in ihrem Inneren andere Keimschläuche, die mit Mund und Darmkanal versehenen Redien in sich zur Ausbildung bringt (Fig. 7 C u. D). In letzteren können wieder Redien entstehen (Fig. 7 D, E), die vierte Generation und in diesen Redien kann noch eine neue Generation erzeugt werden (Fig. 7, E, F), die mit einem Schwanzanhang versehenen sogenannten Cercarien. Letztere verlassen die Redie sowie den Körper der Schnecke, um eine Zeit frei umher zu schwimmen und sich dann an Gräsern einzukapseln, um mit ihnen in den Darm ihres Endwirtes (des Schafes) zu gelangen, wenn sie nicht (bei anderen Distomeen) erst noch einen zweiten Zwischenwirt durchlaufen. Im letzteren Fall gelangen sie mit diesem in den Endwirt und werden in ihm geschlechtsreif (vgl. die Artikel „Parasitismus" und „Plathelminthes"). Hier interessiert von diesem komplizierten Entwickelungsgang vor allem, daß bei ihm, abgesehen von den Larvenformen (Miracidium und Cercarie), eine Anzahl recht verschieden gestalteter Tiere (geschlechtsreifes Distonum, Sporocyste, Redie, Cercarie-Distomum) in den Zyklus der Art gehört.

Bei den Trematoden ist die parasitische Lebensweise für die Umgestaltung bestimmend gewesen, wie dies auch von anderen Tierformen, z. B. den Cestoden und Nematoden, bekannt ist. Im ersteren Fall, bei den Bandwürmern kann von einem Poly- oder Dimorphismus nur dann gesprochen werden, wenn es sich nicht wie gewöhnlich bei ihnen um Metamorphose, sondern um Metagenesis wie beim Coenurus und Echinococcus handelt, bei welchen ebenfalls zwei äußerst verschieden gestaltete Generationen, die des geschlechtsreifen Bandwurms und der proliferierenden Finne vorhanden sind. Insofern soll dieser Fall hier ebensowenig wie derjenige der Nematoden behandelt werden, bei welchen frei lebende getrennt geschlechtliche mit parasitischen, recht abweichend gestalteten Generationen abwechseln können und somit ein Poly- oder Dimorphismus vorhanden ist (Rhabdonema, Allantonema, Atractonema, Sphaerularia). Man vergleiche die Artikel „Deszendenztheorie", „Dimorphismus", „Nematoden" und „Parasitismus".

Die zuletzt erwähnten Beispiele der Cestoden und Nematoden wurden an dieser Stelle deshalb herangezogen, weil ihr Polymorphismus durch die schmarotzende Lebensweise hervorgerufen ist, doch handelt es sich in beiden Fällen nicht um Heterogonie. Letztere kommt dann in Frage, wenn bei der Aufeinanderfolge von rein geschlechtlichen und parthenogenetischen Generationen die betreffenden Individuen abweichende Gestaltung zeigen, die zwar längst nicht so weit gehend, wie es oben für die Trematoden besprochen wurde, aber immerhin recht bemerkenswert ist. Bei solchen Tieren, welche wie die Rädertiere und Daphnoiden (Wasserflöhe) offenbar von ihrer Umgebung sehr abhängig und verhältnismäßig leicht dadurch beeinflußbar sind, zeigen nicht nur die Geschlechtsgenerationen von den parthenogenetischen gewisse Differenzen, sondern auch die Generationen von gleicher Fortpflanzungsweise können mehrgestaltig werden. Genauer verfolgt worden ist dies außer bei den Rädertieren (Anuraea), besonders bei den Daphnoiden, bei welchen man eine sogenannte „Cyclomorphose" insofern unterschieden hat, als die betreffenden Arten unter dem Einfluß der mit der Jahreszeit wechselnden Temperatur und der übrigen damit im Zusammenhang stehenden Lebensbedingungen ihre Gestalt in ziemlich auffallender Weise ändern und somit im Lauf des Jahres mehrere abweichend gestaltete Generationen aufeinander folgen (Fig. 8, vgl.

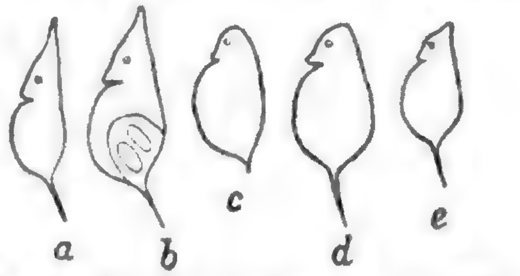


Fig. 8. Daphnia longispina var. cucullata. a vom 8. August, b vom 18. September, c vom 23. März, d u. e vom 7. Juni. Nach Wesenberg-Lund aus K. C. Schneider.

auch den Artikel „Deszendenztheorie"). Auf denselben Artikel wie auf den über „Tierstaaten" kann wegen einer anderen, hier nur kurz zu erwähnenden Erscheinung verwiesen werden, die ebenfalls auf der Heterogonie beruht, nämlich auf die Vielgestaltigkeit der Individuen in den Staaten der Insekten.

Die Fortpflanzung auf dem Wege der Parthenogenesis (und infolgedessen die Heterogonie) ist bei den Insekten keine ganz seltene Erscheinung. Die parthenogenetischen Generationen können sich von den zweigeschlechtlichen durch ihre Gestaltung, besonders auch durch das Fehlen der Flügel unterscheiden, wie es bei Blattläusen, Gallwespen u. a. zu beobachten ist. Indem mehrere solcher Generationen auftreten und auch diese wieder unter sich verschieden sein können, kommt es zu einem mehr oder weniger stark hervortretenden Polymorphis-

mus. Wie bei den infolge der Knospung und Metagenesis zustande kommenden Kolonien polymorpher Tiere tritt auch bei den aus rein geschlechtlichen und parthenogenetischen Individuen bestehenden Kolonien der Insekten (Tierstaaten) eine Arbeitsteilung und damit eine Differenzierung in bestimmter Richtung ein, die zur Erlangung einer mehr oder weniger abweichenden Gestalt führt. Wie die betreffenden Individuen der Tierstöcke bei Coelenteraten, Bryozoen und Tunicaten die Fähigkeit der Fortpflanzung und zwar sowohl der geschlechtlichen wie ungeschlechtlichen, verloren haben, so tritt ähnliches auch in den Insektenstaaten (bei Ameisen, Bienen, Wespen, Hummeln, Termiten) ein, indem außer den Geschlechtstieren (Männchen und Weibchen) noch zahlreiche Weibchen mit mehr oder weniger verkümmerten Geschlechtsorganen vorhanden sind, denen die Fähigkeit der Fortpflanzung nur noch in sehr beschränktem Maße zukommt oder ganz verloren ging. Ihnen liegen bestimmte Verrichtungen ob, z. B. die Arbeiten im Stock, das Herbeischaffen von Material und Nahrung, die Brutpflege, die Verteidigung des Stockes, weshalb man sie als Arbeiter, Soldaten usw. bezeichnet, doch sei in dieser Beziehung wie gesagt auf die oben genannten Artikel verwiesen.

4. Polymorphismus bei rein geschlechtlicher Fortpflanzung. Insofern Einflüsse recht verschiedener Art die Mehrgestaltigkeit der Individuen hervorrufen und andererseits auch beim Vorhandensein differenter Fortpflanzungsweisen ziemlich gleichartige Einflüsse wirksam sein können, zeigen die betreffenden Erscheinungen selbst bei verschiedener Entstehung mancherlei Uebereinstimmendes, so daß einige von ihnen bereits vorher herangezogen wurden, obwohl sie nicht eigentlich in das betreffende Gebiet gehören. Dies gilt z. B. für die Aufeinanderfolge verschieden gestalteter Generationen bei gewissen, sich auf rein geschlechtlichem Wege vermehrenden Nematoden. Sie wird durch die schmarotzende Lebensweise hervorgerufen, ebenso wie der Parasitismus für die Vielgestaltigkeit in den Generationen der Trematoden verantwortlich zu machen ist, bei denen es sich im übrigen um Heterogonie handelt, während bei den proliferierenden Cestoden nur Metagenesis in Frage kommen kann. Bei den letzteren allerdings komplizieren sich die Verhältnisse noch dadurch, daß jenes abweichend gestaltete Stadium bei anderen Bandwürmern nur ein solches der Metamorphose ist, was jedoch nicht in den Kreis der hier anzustellenden Betrachtungen gehört. Hier sollte nur darauf hingewiesen werden, wie polymorphe Individuen unter verhältnismäßig gleichartigen Einflüssen auch bei ganz verschiedenem Fortpflanzungsmodus zustande kommen können. Die vorher genannten Nematoden bieten ein Beispiel dafür, daß dies auch bei rein geschlechtlicher Fortpflanzung der Fall sein kann. Letztere dürfte hauptsächlich oder allein in Frage kommen bei jenen Erscheinungen des Polymorphismus, die man bei Insekten und anderen Gliedertieren aufgefunden und ebenfalls mit den äußeren Lebensbedingungen in Beziehung gebracht hat. Die bekanntesten dieser Erscheinungen sind diejenigen des sogenannten Saisonpolymorphismus (Saisondimorphismus) bei Schmetterlingen. Bei unserem einheimischen Landkärtchen (Vanessa levana) wechselt die braune Frühjahrsgeneration mit zwei dunklen, fast schwarzen Sommergenerationen ab und ähnliche, wenn auch nicht so weitgehende Verschiedenheiten finden sich bei anderen einheimischen Tagschmetterlingen (Polyommatus phlaeas, Lycaena agestis, Pieris napi, Papilio ajax u. a.). Außerordentlich different in Größe und Färbung sind die Regen- und Trockenzeitformen mancher Tagfalter tropischer und subtropischer Länder z. B. der Precis-Arten von Südafrika. Klimatische Einflüsse und solche der Ernährung sind es, welche diese Veränderungen hervorbrachten und andere kommen noch hinzu, wie man an denjenigen Schmetterlingen sieht, welche in einem der beiden Geschlechter differente Formen zeigen. Dies gilt ebenfalls für gewisse Tagschmetterlinge, so besitzt Papilio memnon auf Java neben immer gleich bleibenden Männchen drei verschieden gefärbte Weibchen (die Achates-, Agenor- und Laomedon-Form) oder Papilio merope im Capland ebenfalls dreierlei Weibchen (die Danais-, Niavius- und Echeria-Form), die sich aus den Eiern eines Weibchens ziehen lassen. Hier sollen die Weibchen durch die mimetischen Einflüsse zur Erlangung eines besseren Schutzes verändert worden sein (Weismann).

Ein Polymorphismus durch Auftreten dimorpher Weibchen ist auch von Käfern bekannt; es braucht nur an das Beispiel der Weibchen von Dytiscus mit gerieften und glatten, im letzteren Fall denjenigen der Männchen ähnlichen Flügeldecken erinnert zu werden. Auch bei Dorcadion, einem Bockkäfer, können die Weibchen dimorph werden, indem die einen den Männchen völlig gleichen, die anderen jedoch sich in Färbung, Skulptur der Oberfläche und Behaarung von ihnen unterscheiden. Neben einer dem Männchen mehr ähnlichen soll eine zweite, im Gegensatz zu jener blutsaugende und zumal hinsichtlich der Mundwerkzeuge abweichend gestaltete Weibchenform bei einer in Brasilien lebenden Mücke (Paltostoma torrentium vorkommen (Fr. Müller).

Digitized by Google

Während bei den oben genannten Insekten die Weibchen di- oder polymorph sind, kann dies auch bei den Männchen vorkommen. So sind die Männchen gewisser Bythinus-Arten (Zwergkäfer, Pselaphiden) dadurch dimorph, daß bei ihnen im Gegensatz zu anderen Männchen die Schenkel und Schienen stark verdickt erscheinen, so bei Bythinus clavicornis und Bythinus infletipes (Reitter). Ein ebenfalls auf dem Dimorphismus der Männchen beruhender Polymorphismus wird vom Hirschkäfer angegeben, indem bei ihm neben Männchen mit breiteren Köpfen und stärkeren Oberkiefern ausgesprochen verschiedene mit schmalem Kopf und schwächeren Kiefern vorkommen sollen. Zu erwähnen ist dann das oft zitierte Beispiel der Scherenassel Leptochelia (Tanais) dubia, bei welcher zweierlei Männchenformen, nämlich solche mit langen Riechfäden und andere mit besonders kräftigen Scheren auftreten, wodurch offenbar jede dieser beiden Formen in ihrer Weise zum Aufsuchen oder Festhalten des Weibchens besonders geeignet erscheint (Fr. Müller). Für diese und die anderen Formen des Polymorphismus ließen sich noch weitere Beispiele anführen, doch sei auf die angegebene Literatur und auf die Artikel über „Deszendenztheorie", „Dimorphismus" und die weiter oben genannten einzelnen Tiergruppen verwiesen.

Literatur. **H. J. Kolbe**, *Einführung in die Kenntnis der Insekten. Berlin 1893.* — **E. Korschelt und K. Heider**, *Lehrbuch der vergleichenden Entwickelungsgeschichte. Jena 1890 bis 1893 und 1910.* — **J. C. H. de Mejere**, *Ueber getrennte Vererbung der Geschlechter. Biol. Centr.-Blatt. Bd. 30. 1910.* — **L. Plate**, *Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung. III. Aufl. Leipzig 1908.* — **E. Reitter**, *Fauna germanica. Die Käfer. Stuttgart 1908.* — **K. C. Schneider**, *Einführung in die Deszendenztheorie. II. Aufl. Jena 1911.* — **A. Weismann**, *Studien zur Deszendenztheorie. Leipzig 1875.* — **Derselbe**, *Vorträge über Deszendenztheorie. II. Aufl. Jena 1904.* — **C. Wesenberg-Lund**, *Plankton Investigations of the Danish Lakes. 1908.*

E. Korschelt.

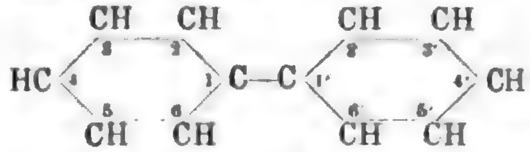
Polyphenylverbindungen.

a) Diphenylgruppe. b) Diphenylmethangruppe. c) Triphenylmethangruppe. d) Dibenzyl- oder Diphenyläthangruppe.

a) Diphenylgruppe.

1. Allgemeines, Isomerien, Substitutionsregelmäßigkeiten, Konstitutionsermittelung. 2. Kohlenwasserstoffe. 3. Phenole und Chinone. 4. Nitro-, Amino- und Azoderivate, Benzidin und Benzidinfarbstoffe. 5. Diphenylcarbonsäuren.

1. Allgemeines, Isomerien, Substitutionsregelmäßigkeiten, Konstitutionsermittelung. Die Diphenylgruppe gehört zu der Klasse der mehrkernigen aromatischen Verbindungen, deren Stammsubstanz das Diphenyl oder Biphenyl



ist. Die Formel dieses Kohlenwasserstoffes enthält zwei Benzolkerne, die direkt mit je einer Valenz verknüpft sind; konjugierte Benzolkerne im Gegensatz zu kondensierten Benzolkernen (Naphtalin usw.). Aehnlich wie im Benzol werden die Wasserstoffatome mit o, m und p bezw. o', m' und p', oder auch mit Zahlen in der oben angegebenen Weise bezeichnet. Wird ein Wasserstoffatom substituiert, so erhält man je nach der Stellung der Substituenten 3 verschiedene Monosubstitutionsprodukte, während zweimalige Substitution durch zwei gleiche Radikale bereits 12 Isomere voraussehen läßt. Die Zahl der Isomeren ist bei dem Diphenyl also weit größer als bei dem Benzol, von dem ja nur ein Mono- und nur drei Disubstitutionsprodukte existieren. Durch direkte Substitution beim Halogenisieren, Nitrieren und Sulfurieren entstehen in erster Linie 4-Diphenyl- oder 4,4'-Diphenylderivate.

Die Konstitution des Diphenyls wird außer durch seine unten angegebenen Synthesen bewiesen durch sein Verhalten bei der Oxydation; es liefert hierbei als einziges Produkt die Benzoesäure unter Erhaltung des einen und unter Zerstörung des anderen Benzolkernes.

Aehnlich verhalten sich die Diphenylderivate, so daß es möglich ist, auf solchem Wege ihre Konstitution zu ermitteln. Liefert z. B. ein Bromdiphenyl bei der Oxydation p-Brombenzoesäure, so wird ihm nur die Formel $\overset{(4)}{Br}\,C_6H_4.C_6H_5$ zukommen können.

2. Kohlenwasserstoffe. Das Diphenyl $C_6H_5.C_6H_5$ ist ein farbloser Kohlenwasserstoff von eigentümlichem, aber angenehmem Geruche. Schmelzpunkt 70,5°, Siedepunkt 254°. Er ist enthalten im Steinkohlenteer und in den Destillationsprodukten des Fichtenholzes. Auf synthetischem Wege entsteht er bei der Einwirkung von Natrium auf Brombenzol $2C_6H_5Br + Na_2 = C_6H_5.C_6H_5 + 2NaBr$, oder beim Durchleiten von Benzoldämpfen durch rotglühende Röhren. Bei der letzten Reaktion, die zu einer bequemen Darstellungsmethode des Diphenyls ausgearbeitet ist, bildet sich, wie bei sehr vielen ähnlichen pyrogenen Vorgängen nebenbei Wasserstoff, $2C_6H_6 = C_6H_5.C_6H_5 + H_2$.

Digitized by Google

Die Homologen des Diphenyls werden auf analogen Wegen gewonnen.

3. **Phenole und Chinone.** Phenole und Chinone der Diphenylgruppe entstehen durch Verkettung zweier Phenole der Benzolreihe in Gegenwart schmelzender Alkalien oder Oxydationsmittel. Wird das einfachste Phenol mit Bleioxyd erhitzt, so erhält man aus dem intermediär entstehenden 2,2'-Dioxydiphenyl $OH.C_6H_4.C_6H_4.OH$ das Diphenylenoxyd $\begin{matrix}C_6H_4\\|\\C_6H_4\end{matrix}\!\!>O$, das in geringer Menge im Stuppfett, dem Destillationsprodukte der Quecksilbererze von Idria enthalten ist.

Ein Tetraoxydiphenyl ist das Sappanin $C_{12}H_6(OH)_4+2H_2O$, das aus dem Extrakt des zum Rotfärben benutzten Sappanholzes (Caesalpinia Sappan) durch Schmelzen mit Aetznatron gewonnen wird. Nebenprodukte dieser Reaktion sind Resorcin und Brenzcatechin, die wahrscheinlich zum Aufbau des Sappanins dienen. Die wässerige Lösung des Sappanins wird durch Eisenchlorid kirschrot gefärbt (Phenolreaktion).

Coerulignon

$$\begin{matrix}O\\ {}_2(CH_3.O)\end{matrix}\!\!>C_6H=C_6H\!<\!\!\begin{matrix}O\\(O.CH_3)_2\end{matrix},$$

stahlblaue Nadeln, in den meisten Flüssigkeiten schwer löslich, bildet sich bei der Oxydation des Pyrogalloldimethyläthers. Da dieser Aether in der rohen Essigsäure vorhanden ist, erhält man das Coerulignon auch aus dem Essig, wenn dieser zur Reinigung mit geringen Mengen Kaliumbichromat versetzt wird. Hierbei scheidet es sich zunächst als blauschillernde Haut auf der Oberfläche ab und sinkt schließlich als violettblaue Masse zu Boden. In konzentrierter Schwefelsäure löst es sich mit kornblumenblauer Farbe. Seine tiefe Farbe verdankt es der chinoiden Konstitution.

Hydrocoerulignon

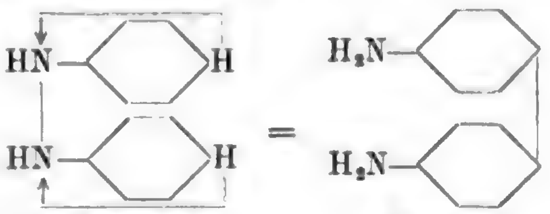
$$\begin{matrix}HO\\ {}_2(H_3C.O)\end{matrix}\!\!>C_6H_2-C_6H_2\!<\!\!\begin{matrix}OH\\(O.CH_3)_2\end{matrix}$$

ist farblos; es entsteht durch Reduktion des Coerulignons und wird sehr leicht, schon durch den Luftsauerstoff, zu Coerulignon oxydiert. Wir finden hier also dieselben Beziehungen, wie zwischen dem farblosen Hydrochinon und dem gelben Chinon.

4. **Nitro-, Amino- und Azoderivate des Diphenyls.** Während durch direkte Nitrierung des Diphenyls immer Gemenge verschiedener Nitroverbindungen entstehen, gewinnt man Dinitrodiphenyle besser auf synthetischem Wege, z. B. das technisch wichtige 2,2'-Dinitrodiphenyl durch Einwirkung fein verteilten Kupfers auf das o-Chlornitrobenzol.

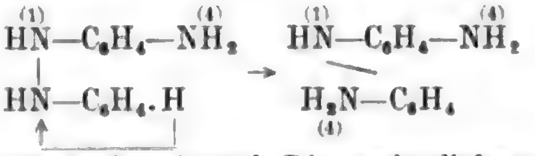
2,2'-Diaminodiphenyl $(2)H_2N.C_6H_4.C_6H_4.NH_2(2')$ entsteht durch Reduktion des eben erwähnten 2,2'-Dinitrodiphenyls. Es liefert beim Erhitzen mit Schwefelsäure unter Ammoniakverlust das Carbazol $\begin{matrix}C_6H_4\\|\\C_6H_4\end{matrix}\!\!>NH$ (Diphenylenimid, Dibenzopyrrol), das aus den höchstsiedenden Anteilen des Steinkohlenteers, dem Rohanthracen, durch Schmelzen mit Kali in Form von Carbazolkalium gewonnen wird, und das beim Erhitzen mit Oxalsäure einen dem Diphenylaminblau analogen Farbstoff liefert.

4,4'-Diaminodiphenyl oder Benzidin $(4)H_2N.C_6H_4.C_6H_4.NH_2(4')$ ist die wichtigste Verbindung der Diphenylgruppe. Es wird gebildet durch einen theoretisch und praktisch gleich wichtigen Umlagerungsprozeß, den das Hydrazobenzol in Gegenwart saurer Agentien erfährt.



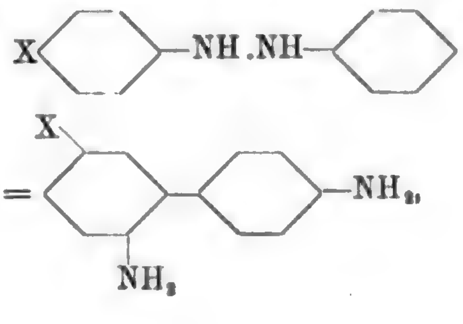
Hydrazobenzol Benzidin

Dieser sonderbare Vorgang wird kurzweg als „Benzidinumlagerung" bezeichnet. Aus dem obigen Schema folgt, daß eine solche Reaktion nicht eintreten kann, wenn beide p-Wasserstoffatome des Hydrazobenzols durch Alkyle oder andere Radikale substituiert sind. Ist nur ein p-Wasserstoffatom substituiert, so vollzieht sich entweder eine halbseitige Umlagerung „Semidinumlagerung", bei der Derivate des technisch wichtigen Diphenylamins entstehen, z. B.



p-Aminohydrazobenzol Di-p-aminodiphenylamin,

oder es werden Diphenylinbasen, 2,4'-Diaminodiphenylderivate gebildet



Digitized by Google

die auch schon als Nebenprodukte bei der Benzidinumgewinnung entstehen.

Für die technische Darstellung des Benzidins behandelt man Nitrobenzol oder Azobenzol in verschiedenen Schichten mit reduzierenden und umlagernden Agentien, ohne die Zwischenprodukte der Reaktionen zu isolieren. Oder man reduziert Nitrobenzol auf elektrolytischem Wege zu Hydrazobenzol, das dann direkt in Benzidin umgelagert wird.

Das Benzidin schmilzt bei 127,5 bis 128°. Seine Lösungen schmecken beißend und pfefferartig. Das weiße Sulfat und das tiefblaue Chromat sind schwer löslich. Das chemische Verhalten des Benzidins gleicht sehr dem des Anilins; es ist quasi das Anilin der Diphenylgruppe. Mit Brom- und Chlorwasser, Kaliumpermanganat, Chromsäure, Ferricyankalium gibt es charakteristische Farbreaktionen. Durch Braunstein und Schwefelsäure wird es zu Benzochinon oxydiert. Durch salpetrige Säure werden Benzidinsalze doppelseitig diazotiert zu Bisdiazoniumsalzen $Cl.N_2.C_6H_4.C_6H_4.N_2.Cl$, die durch Kuppelung mit Phenolen oder Aminen, z. B. Phenol, Salicylsäure, Naphtolsulfosäuren, Naphtylaminsulfosäuren die Bisazo- oder Tetrazodiphenylfarbstoffe liefern. Diese von Schultz (1881) und von Boettiger (1883) in die Praxis eingeführten Farbstoffe heißen Benzidin-Farbstoffe oder Congofarbstoffe, weil der erste Repräsentant dieser Gruppe Congorot genannt worden ist. Ihre Nuance variiert von Gelb und Orange nach Rot, Violett und Blau. Ihr hoher Wert beruht auf der Fähigkeit die ungebeizte Pflanzenfaser direkt seifenecht zu färben. Sie sind daher die besten substantiven Baumwollfarbstoffe (Näheres siehe in dem Art. „Farbstoffe").

5. Diphenylcarbonsäuren. Diphenylcarbonsäuren sind in großer Zahl bekannt. Hier seien nur zwei Säuren angeführt, die von theoretischer Bedeutung sind für die Aufklärung der Konstitution von Diphenyl-, Phenanthren- und Fluorenderivaten.

Diphenyl-2,2'-dicarbonsäure (2)-$HOOC.C_6H_4.C_6H_4.COOH$(2') entsteht auf synthetischem Wege aus der m-Nitrobenzoesäure durch eine Reihe aufeinanderfolgender Reaktionen (Reduktion, Benzidinumlagerung, und Eliminierung der Aminogruppen) im Sinne folgender Formeln.

$$\overset{(3)}{HOOC}.C_6H_4.\overset{(1)}{NO_2} \rightarrow$$

$$\overset{(3)}{HOOC}.C_6H_4\overset{(1)}{N}=\overset{(1')}{N}.C_6H_4.\overset{(3')}{COOH} \rightarrow$$

$$\overset{(3)}{HOOC}.C_6H_4.\overset{(1)}{NH}.\overset{(1')}{NH}.C_6H_4.\overset{(3')}{COOH} \rightarrow$$

$$\begin{array}{r} H_2N \\ \underset{(2)}{HOOC} \end{array}\!\!>C_6H_3\,.\,C_6H_3<\!\!\begin{array}{l} NH_2 \\ \underset{(2')}{COOH} \end{array} \rightarrow$$

$$(2)\ HOOC.C_6H_4.C_6H_4.COOH\ (2)$$

ferner durch Oxydation von Phenanthren oder Phenanthrenchinon mit Chromsäure, oder beim Kochen von Phenanthrenchinon mit alkoholischem Kali

$$\begin{array}{l} C_6H_4-CO \\ |\qquad\ \ | \\ C_6H_4-CO \end{array} + H_2O + O = \begin{array}{l} C_6H_4-COOH \\ | \\ C_6H_4-COOH \end{array}$$

schließlich auch durch Diazotieren der Anthranilsäure und Nachbehandlung mit ammoniakalischer Kupferoxydullösung.

Die Säure schmilzt bei 228 bis 229°, sublimiert unzersetzt, liefert mit Acetylchlorid Diphensäureanhydrid, beim Glühen mit gebranntem Kalk Diphenylenketon (Fluorenketon) $(C_6H_4)_2CO$.

Diphenyl-2-carbonsäure entsteht als Kaliumsalz durch Schmelzen des Diphenylenketons mit Kalihydrat

$$\begin{array}{l} C_6H_4 \\ | \\ C_6H_4 \end{array}\!\!>CO + KOH = \begin{array}{l} C_6H_5 \\ | \\ C_6H_4.COOK. \end{array}$$

Sie schmilzt bei 110 bis 111° und liefert bei der Destillation ihres Calciumsalzes mit Kalk neben Diphenyl auch wieder Diphenylketon zurück.

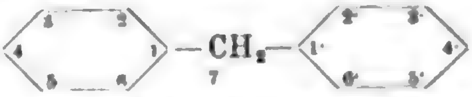
Literatur. ***V. Meyer und P. Jacobson,*** *Lehrbuch der organischen Chemie II. Bd., 2. Teil. Leipzig 1903. — Lehrbuch der organischen Chemie von* ***H. E. Roscoe und C. Schorlemmer,*** *fortgesetzt von J. W. Brühl, 8. Teil. Braunschweig 1896.*

H. Stobbe.

b) Diphenylmethangruppe.

1. Allgemeines, Isomerien, Konstitutionsermittelung. 2. Diphenylmethan. 3. Benzhydrol. 4. Benzophenon. 5. Aminobenzophenone und Auramine. 6. Oxybenzophenone.

1. Allgemeines, Isomerien, Konstitutionsermittelung. Die Derivate des Diphenylmethans



sind in zwei Reihen anzuordnen. Zur ersten gehören solche, die entstanden sind durch Substitution der Wasserstoffatome der Benzolkerne, zur zweiten solche, deren Substituenten am 7-Kohlenstoffatom haften. Man kennt vier Monooxydiphenylmethane, die 2-, 3- und 4-Oxydiphenylmethane $HO.C_6H_4.CH_2.C_6H_5$ und das 7-Oxydiphenylmethan oder Benzhydrol $C_6H_5.CH(OH).C_6H_5$. Die ersten drei haben Phenolcharakter, das vierte den Charakter eines sekundären Alkohols. Die Konstitution solcher Isomeren wird durch oxydative Spaltungen ermittelt. Die ersten drei Isomeren liefern

o-, m- oder p-Oxybenzoesäuren und Benzoesäure, das Benzhydrol nur Benzoesäure.

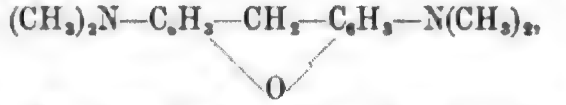
2. Diphenylmethan. Diphenylmethan entsteht auf synthetischen Wegen durch Erhitzen von Benzylchlorid und Benzol mit Zinkstaub, durch Einwirkung von Aluminiumchlorid auf Benzylchlorid und Benzol oder auf Benzol und Methylenchlorid, ferner durch Kondensation von Benzol und Benzylalkohol bezw. Methylal mit konzentrierter Schwefelsäure. — Schmelzpunkt 26,1°, Siedepunkt 261 bis 263°. Riecht nach Orangen. Wird durch Kaliumbichromat und Schwefelsäure zu Benzophenon oxydiert und liefert beim Durchleiten seiner Dämpfe durch glühende Röhren unter Wasserstoffabspaltung Fluoren

$$C_6H_4—CH_2—C_6H_4.$$

4,4'-Diaminodiphenylmethan $NH_2.C_6H_4.CH_2.C_6H_4.NH_2$ dient zur Darstellung von Fuchsin.

4,4'-Tetramethyldiamino-2,2'-dioxydiphenylmethan

liefert durch Wasserentziehung ein Xanthenderivat



die Grundsubstanz der Pyroninfarbstoffe.

3. Benzhydrol oder Diphenylcarbinol $(C_6H_5)_2.CH.OH$ entsteht durch Reduktion von Benzophenon mit Natriumamalgam, alkoholischem Kali oder Natriumalkoholat. Es wird durch Chromsäure zu Benzophenon oxydiert.

4,4'-Tetramethyldiaminobenzhydrol $(CH_3)_2N.C_6H_4.CH(OH).C_6H_4.N(CH_3)_2$ ist ein für die Industrie wichtiges Präparat, da es sich mit Anilin und anderen Basen zu Leukoverbindungen der Pararosanilinfarbstoffe kondensiert.

Benzhydrolcarbonsäure, Diphenylglykolsäure oder Benzilsäure $(C_6H_5)_2.C(OH).COOH$ wird durch Kochen von Benzil mit alkoholischem Kali dargestellt $C_6H_5.CO.CO.C_6H_5 + HOK = (C_6H_5)_2.C(OH).COOK$.

Diese sonderbare Umlagerungsreaktion, die der Pinakolinbildung (vgl. diesen Artikel) ähnelt, ist von theoretischer Bedeutung, insofern sie einen Uebergang eines Diphenyläthanderivates in einen Diphenylmethanabkömmling repräsentiert. Sie ist auf die Verbindungen vom Benziltypus beschränkt.

4. Benzophenon, Diphenylketon $C_6H_5.CO.C_6H_5$ entsteht durch Oxydation von Diphenylmethan und von Benzhydrol, durch Destillation von benzoesaurem Kalk, ferner auf vielen anderen synthetischen Wegen, die den Darstellungsweisen des Diphenylmethans analog sind, z. B. aus Carbonylchlorid oder Benzoylchlorid mit Benzol und Aluminiumchlorid, aus Benzoesäure und Benzol mit Phosphorsäureanhydrid. Man kennt zwei Benzophenone

a) das stabile Benzophenon A, rhombische Prismen, Schmelzpunkt 48 bis 48,5°, von angenehmem Geruch.

b) das labile Benzophenon B, monosymmetrische Kristalle von der Form des Doppelspates, Schmelzpunkt 26 bis 26,5°.

A verwandelt sich beim Erhitzen seiner Schmelze in B. B geht in kristallinem Zustande freiwillig in A über; dieser Vorgang wird stark beschleunigt durch Impfen mit A. Früher hat man geglaubt, daß die beiden Benzophenone nur im kristallinen Zustande verschieden seien und daß sie daher zwei Gattungen eines dimorphen Diphenylketons seien. Neuerdings ist gezeigt worden, daß auch ihre Schmelzflüsse verschieden sind. Die beiden Ketone sind daher zwei wahre isomere chemische Verbindungen. Ihre molekulare Verschiedenheit durch zwei Formeln auszudrücken, ist mit Hilfe der zurzeit gültigen Theorien nicht angängig.

Benzophenon wird durch starke Mineralsäuren und durch schmelzendes Kali in Benzoesäure und Benzol gespalten. Diese Reaktion zeigen alle seine Derivate. Sie ist wichtig zu Konstitutionsbestimmungen; 4-Oxybenzophenon liefert p-Oxybenzoesäure und Benzol

$$HO.C_6H_4.CO.C_6H_5 + HOH = HO.C_6H_4.COOH + C_6H_6.$$

5. Aminobenzophenone und Auramine. Tetramethyl-4,4'-diaminobenzophenon $(CH_3)_2N.C_6H_4.CO.C_6H_4N(CH_3)_2$ entsteht durch Einleiten von Phosgen in Dimethylanilin. Es ist nach seinem Entdecker „Michlersches Keton" genannt worden und liefert mit Dimethylanilin das Kristallviolett (vgl. den Artikel „Triphenylmethanfarbstoffe"). Durch Kondensation mit Ammoniak in Gegenwart von Chlorzink entsteht aus dem Michlerschen Keton das Tetramethyldiaminobenzophenonimid, das Auramin

$$(CH_3)_2.N.C_6H_4.(C=NH).C_6H_4.N(CH_3)_2.$$

Die Auramine sind gelbe Farbstoffe, die zum Färben gebeizter Baumwolle benutzt werden.

6. Oxybenzophenone. Polyoxybenzophenone haben Beziehungen zu den Xanthonfarbstoffen. Sie werden technisch dargestellt

Digitized by Google

durch Kondensation von Benzoesäure mit Polyphenolen, z. B. das **2, 3, 4-Trioxybenzophenon** $C_6H_5.CO.C_6H_2(OH)_3$ aus Benzoesäure, Pyrogallol und Chlorzink. Es bildet, wie die verwandten Polyoxyverbindungen, gelbe Farblacke und kommt unter dem Namen **Alizaringelb A** in den Handel.

2, 2′-Dioxybenzophenon $HO.C_6H_4.CO.C_6H_4.OH$ bildet sich bei der Kalischmelze des Xanthons $C_6H_4 \begin{matrix} CO \\ O \end{matrix} C_6H_4$.

2, 4, 2′, 5′ Tetraoxybenzophenon. Euxanthonsäure $(HO)_2.C_6H_3.CO.C_6H_3(OH)_2$ wird in analoger Weise dargestellt aus dem **Euxanthon**, das seinerseits aus dem, als Farbmaterial dienenden Indischgelb (Puree oder Piuri) gewonnen wird (vgl. den Artikel „**Farbstoffe**").

2, 4, 6-Trioxybenzophenon. Benzoylphloroglucin $C_6H_5.CO.C_6H_2(OH)_3$. Von diesem Keton leiten sich ab das **Cotoin, Hydrocotoin, Oxyleucotin** und **Protocotoin**, die sämtlich aus der Cotorinde (Cortex Coto) von Drimys granatensis L., einer in Brasilien und Bolivia einheimischen Magnoliacee, gewonnen werden. Cotoin dient ebenso wie das aus der Paracotorinde gewonnene nahe verwandte **Paracotoin** als styptisches Mittel bei Durchfällen und profusen Schweißen.

Ein **Pentaoxybenzophenon** $(HO)_2.C_6H_3.CO.C_6H_2(OH)_3$ ist das **Maclurin** oder die **Moringerbsäure**. Es wird gewonnen aus dem Gelbholz (Lignum citrinum), dem Kernholz des in den Tropenländern heimischen Maulbeer- oder Fustikbaums Maclura aurantiaca Nutt (Morus tinctoria L.). Die unter dem Namen „Schüttgelb" bekannte Lackfarbe wird aus dem Gelbholz durch Digerieren mit Alaun und Kreide gewonnen und enthält somit das Aluminium und das Kalksalz des Pentaoxybenzophenons.

Literatur. *Vgl. bei a) „Diphenylgruppe".*

H. Stobbe.

c) Triphenylmethangruppe.

1. Triphenylmethan als Grundsubstanz der Triphenylmethanfarbstoffe. 2. Triphenylmethan-o-carbonsäure und Phtaleïne. 3. Fluorescein und Eosine. 4. Triphenylmethyl und Hexaphenylaethan.

1. Triphenylmethan $(C_6H_5)_3CH$ wird am zweckmäßigsten dargestellt durch Einwirkung von Aluminiumchlorid auf Chloroform und Benzol. $CHCl_3 + 3\,C_6H_6 = CH(C_6H_5)_3 + 3\,HCl$. Schmelzpunkt 93°. Siedepunkt 359°. Das Wasserstoffatom des Methanrestes ist sehr leicht substituierbar; so bildet sich aus dem Kohlenwasserstoff und Chlor das Triphenylchlormethan $(C_6H_5)_3.CCl$, mit Brom insbesondere im Lichte das Triphenylbrommethan $(C_6H_5)_3.CBr$, bei der Oxydation mit Chromsäure das Triphenylcarbinol $(C_6H_5)_3C.OH$, das auch beim Kochen der eben genannten Halogenverbindungen mit Wasser, ferner aber auch aus Benzoesäureester und Phenylmagnesiumbromid nach **Grignard** darzustellen ist.

Das Triphenylmethan ist die Muttersubstanz hochwichtiger Farbstoffe, von denen hier nur die Verbindungen der **Malachitgrünreihe**, der **Rosanilin-** und **Pararosanilinreihe**, die **Aurine** und die **Eosine** genannt seien. Wenn auch diese Farbstoffe meist auf anderen Wegen bereitet werden (vgl. den Artikel „**Farbstoffe**"), so hat man sie doch teilweise aus dem Grundkohlenwasserstoffe aufgebaut. Man führt zu diesem Zwecke das Triphenylmethan durch rauchende Salpetersäure in Trinitrotriphenylmethan $(NO_2.C_6H_4)_3.CH$ über und oxydiert dieses mit Chromsäure zu Trinitrotriphenylcarbinol $(NO_2.C_6H_4)_3.C(OH)$. Durch Reduktion mit Zinkstaub und Eisessig liefert das erste das Triaminotriphenylmethan oder Paraleukanilin $(NH_2.C_6H_4)_3.CH$, das zweite dagegen das Triaminotriphenylcarbinol $(H_2N.C_6H_4)_3.C(OH)$, das mit Salzsäure zunächst das sehr unbeständige Salz der Carbinolbase (a) und dann unter Wasseraustritt direkt einen roten Farbstoff, das salzsaure Pararosanilin (b) liefert.

$$C(OH) \begin{cases} C_6H_4.NH_2 \\ C_6H_4.NH_2 \\ C_6H_4.NH_3Cl \end{cases} \rightarrow C \begin{cases} C_6H_4.NH_2 \\ C_6H_4.NH_2 \\ C_6H_4{:}NH_2Cl \end{cases} + H_2O.$$

(a) (b)

Aus diesem Farbstoffe wird durch Diazotieren und nachheriges Umkochen des entstandenen Tri-Diazoniumsalzes das einfachste Aurin, die Pararosolsäure (gelbes Korallin)

$$C \begin{cases} C_6H_4.OH \\ C_6H_4.OH \\ C_6H_4{=}O \end{cases}$$

gewonnen.

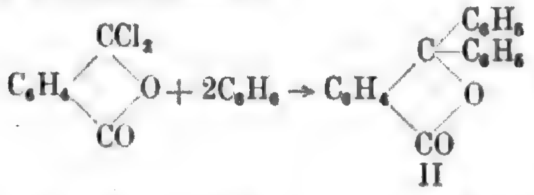
Diphenyl-m-tolylmethan $(C_6H_5)_2.CH.C_6H_4.CH_3$ (1) (3) und das zugehörige Carbinol $(C_6H_5)_2.C(OH).C_6H_4.CH_3$ sind die vollkommenen Analoga der Triphenylmethanverbindungen. Sie sind die Stammsubstanzen der Rosanilinfarbstoffe, unter denen das **Fuchsin** das bekannteste ist.

Digitized by Google

2. Triphenylmethan-o-carbonsäure $(C_6H_5)_2.\overset{(1)}{CH}.C_6H_4.\overset{(2)}{COOH}$ entsteht durch Reduktion von Triphenylcarbinol-o-carbonsäure bezw. Phtalophenon. Die Säure ist farblos, schmilzt bei 162° und bildet beim Erhitzen mit Kalk das Triphenylmethan.

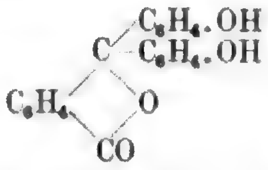
Triphenylcarbinol-o-carbonsäure (I) entsteht in Form ihres Laktones, des Phtalophenons (Diphenylphtalides) (II)

beim Erhitzen von Phtalylchlorid mit Benzol und Aluminiumchlorid

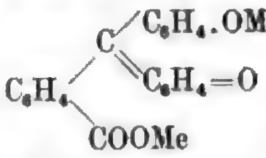


Das Phtalophenon ist farblos und schmilzt bei 115°. Seine Oxyderivate sind die von Baeyer 1871 entdeckten Phtaleine, zu denen technisch wertvolle Farbstoffe gehören.

Phenolphtalein

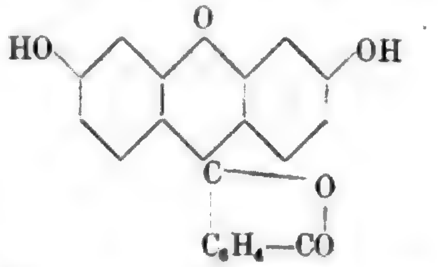


wird gewonnen beim Erhitzen von Phtalsäureanhydrid mit Phenol und Schwefelsäure. Schmelzpunkt 250°. Farblos. Bildet mit Basen tiefrote Salze, die ähnlich den Aurinen nach der Formel

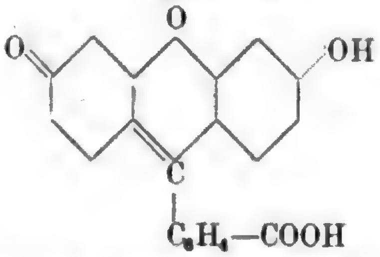


konstituiert sind, und die schon durch schwache Säuren, selbst Kohlensäure, wieder zu dem farblosen Phenolphtalein zerlegt werden. Dieser Eigenschaft wegen ist das Phenolphtalein ein sehr empfindlicher und geschätzter Indikator für die Alkalimetrie.

3. Resorcinphtalein (Fluorescein) $C_{20}H_{12}O_5$ entsteht sehr leicht beim Erhitzen von Phtalsäureanhydrid mit Resorcin. Es wird aus seiner alkalischen Lösung in gelbroten Flocken $C_{20}H_{12}O_5+H_2O$ gefällt, die sehr leicht, schon beim Lösen in Alkohol in das wasserfreie, dunkelrote Fluorescein übergehen. Seine Konstitution wird durch die beiden Formeln



und



zum Ausdruck gebracht. Das Fluorescein erscheint demnach als ein tantomerer Körper; die erste Formel entspricht der Formel des farblosen Phenolphtaleins, die zweite der Formel der Aurine.

Die alkoholischen Lösungen des freien Fluoresceins und ganz besonders die wässerigen Lösungen seiner Alkalisalze zeigen eine prachtvolle grüne Fluoreszenz (Theoretisches hierüber siehe in dem Artikel „Fluoreszenz").

Tetrabromfluorescein $C_{20}H_8Br_4O_5$ entsteht aus Brom und Fluorescein. Sein Kaliumsalz ist der prächtige, rote Farbstoff Eosin, der große Bedeutung für die Seiden- und Wollfärberei besitzt und der auch zum Denaturieren der Futtergerste Verwendung gefunden hat. Das Eosin ist gerade so wie das Fluorescein durch eine sehr starke Fluoreszenz ausgezeichnet. Die Geologen haben diese in allergrößter Verdünnung nachweisbare Eigenschaft verwertet zum Nachweis unterirdischer Verbindungen zweier Flußgebiete. So wurde beispielsweise gezeigt, daß die Donau, die sehr häufig zur heißen Jahreszeit bei Immendingen vollkommen eintrocknet, durch unterirdische Spalten mit der dem Bodensee zuströmenden Radolfzeller Ache zusammenhängt und daß also ein Zusammenhang zwischen Donau und Rhein besteht. Ferner wurde ermittelt, daß die Poik, die in die Adelsberger Grotte fließt, mit der viele Kilometer entfernten Laibach zusammenhängt.

Ueber weitere Eosine und über die Konstitution der Phtaleine siehe näheres in dem Artikel „Farbstoffe".

Als Anhang zu den Verbindungen der Triphenylmethanreihe sind unbedingt die beiden folgenden Verbindungen zu besprechen, die seit ihrer Entdeckung durch Gomberg 1900 großes theoretisches Interesse erweckt haben.

4. Triphenylmethyl $(C_6H_5)_3C$ **und Hexaphenylaethan** $(C_6H_5)_3.C.C.(C_6H_5)_3$. Bei der Einwirkung von Zink auf eine Benzollösung

des Triphenylchlormethans entsteht bei sorgfältigem Luftabschluß eine gelbe Lösung, in der das gelbe Triphenylmethyl und das farblose Hexaphenylaethan vorhanden sind. Man kann das letztere durch geeignete Fällungsmittel in fester Form abscheiden. Beide Verbindungen setzen sich in ihren Lösungen in ein Gleichgewicht, das von der Temperatur und von dem Lösungsmittel abhängig ist. Mit steigender Temperatur zerfällt das weiße Polymere in das gelbe Monomere, ganz ähnlich wie das farblose N_2O_4 zu dem braunroten NO_2 depolymerisiert wird. Das Hexaphenylaethan ist ein gesättigter, das Triphenylmethyl ein stark ungesättigter Kohlenwasserstoff. Der letztere addiert momentan Jod unter Bildung von Triphenyljodmethan $(C_6H_5)_3C.J$, das dem Chlor- und Bromtriphenylmethan analog ist. Er zieht begierig Sauerstoff aus der Luft an unter Bildung des weißen Peroxydes $(C_6H_5)_3C.O.O.C(C_6H_5)_3$; er wird leicht reduziert zu Triphenylmethan, vereinigt sich leicht mit Benzol und anderen aromatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffen, mit Aether, Chloroform und Schwefelkohlenstoff zu kristallinischen Verbindungen; desgleichen auch mit Estern (ausgenommen Methyl- und Aethylformiat), mit Ketonen (außer Aceton), mit Nitrilen (außer Acetonitril).

Das Triphenylmethyl ist eine der wenigen Verbindungen, in deren Formel man dreiwertigen Kohlenstoff anzunehmen hat. Analoga des Triphenylmethyls, in denen ein oder mehrere Phenylreste durch andere Aryle substituiert sind, hat man in großer Zahl gewonnen.

Literatur. *Siehe oben „Diphenylmethangruppe".*

H. Stobbe.

d) Dibenzyl- oder Diphenyläthangruppe.

1. Dibenzyl. 2. Hydrobenzoine. 3. Desoxybenzoin. 4. Benzoin. 5. Benzil. 6. Stilbene. 7. Tolan. 8. Anhang: Einige Derivate des Diphenylpropans, -butans und -pentans.

Die Verbindungen dieser Gruppe leiten sich ab von drei Kohlenwasserstoffen, dem Diphenyläthan oder Dibenzyl, den beiden Diphenyläthylenen oder Stilbenen und dem Diphenylacetylen oder Tolan.

1. Dibenzyl $C_6H_5.CH_2.CH_2.C_6H_5$ entsteht bei der Einwirkung von Natrium auf Benzylchlorid, von Aluminiumchlorid auf Benzol und Aethylenchlorid, ferner auch durch Oxydation von Toluol mit Kaliumpersulfat. — Schmelzpunkt 52°. Wird, wie alle Verbindungen der Diphenyläthangruppe, zu Benzoesäure oxydiert. Liefert beim Erhitzen auf hohe Temperaturen Stilben und Toluol.

$$2\begin{array}{l} C_6H_5—CH_2 \\ \quad\quad | \\ C_6H_5—CH_2 \end{array} = \begin{array}{l} C_6H_5—CH \\ \quad\quad \| \\ C_6H_5—CH \end{array} + \begin{array}{l} C_6H_5.CH_3 \\ \\ C_6H_5.CH_3. \end{array}$$

2. Hydrobenzoine, Diphenylglykole $C_6H_5.\dot{C}H(OH).\dot{C}H(OH).C_6H_5$ entstehen neben Benzylalkohol bei der Reduktion von Benzaldehyd mit Natriumamalgam.

$$\begin{array}{l} C_6H_5.CHO \\ C_6H_5.CHO \end{array} + H_2 = \begin{array}{l} C_6H_5.CH.OH \\ C_6H_5.\dot{C}H.OH. \end{array}$$

(vgl. die Bildung des Pinakons bei der Reduktion des Acetons). Man kennt vier Hydrobenzoine, das optisch inaktive, nicht spaltbare Hydrobenzoin (Schmelzpunkt 138°), ferner das inaktive, racemische Isohydrobenzoin (Schmelzpunkt 119,5°) und schließlich dessen beide aktiven Komponenten, das Rechts- und das Links-Isohydrobenzoin. Diese vier Diphenylglykole entsprechen genau den vier Weinsäuren $COOH.CH(OH).CH(OH).COOH$, der Mesoweinsäure, der Traubenweinsäure und der Rechts- und Linksweinsäure.

3. Desoxybenzoin, Phenylbenzylketon $C_6H_5.CO.CH_2.C_6H_5$ wird dargestellt durch Reduktion von Benzoin, ferner auch aus Phenylacetylchlorid und Benzol mit Aluminiumchlorid. Schmelzpunkt 54 bis 55°. Findet vielfach zu Synthesen Verwendung, weil die zwischen der Benzoyl- und Phenylgruppe stehende Methylengruppe ähnlich reagiert wie das gleiche Radikal im Malonsäureester, Acetessigester usw. So entsteht z. B. bei der Einwirkung von Benzaldehyd auf Desoxybenzoin je nach den Versuchsbedingungen Benzaldesoxybenzoin C_6H_5-$CH:C(C_6H_5).CO.C_6H_5$ oder Benzal-bis-desoxybenzoin, das Benzamaron $C_6H_5.CO.CH(C_6H_5).CH.(C_6H_5).CH(C_6H_5).CO.C_6H_5$. Durch Einwirkung von Thiocarbonylchlorid auf Desoxybenzoin entstehen Desaurine, goldgelbe schwefelhaltige Verbindungen von nicht völlig geklärter Konstitution, in konzentrierter Schwefelsäure mit blauer oder violetter Farbe löslich.

4. Benzoin $C_6H_5.CO.CH(OH).C_6H_5$. Darstellung durch Einwirkung von Cyankalium auf Benzaldehyd

$$\begin{array}{l} C_6H_5.CHO \\ \\ C_6H_5.CHO \end{array} = \begin{array}{l} C_6H_5.CO \\ \quad\quad | \\ C_6H_5.CH(OH). \end{array}$$

Diese Reaktion ist typisch für aromatische Aldehyde; sie wird daher allgemein als „Benzoinkondensation" bezeichnet. Aus Anisaldehyd entsteht auf gleiche Weise Anisoin $H_3C.O.C_6H_4.CO.CH(OH).C_6H_4.OCH_3$, aus Cuminol das Cuminoin $C_3H_7C_6H_4.CO.CH(OH).C_6H_4.C_3H_7$, aus Piperonal das Piperoin $(CH_2.O_2):C_6H_3.CO.CH(OH).C_6H_3:(O_2CH_2)$ usw. Benzoin ist farblos, schmilzt bei 137° und reduziert kalte Feh-

Digitized by Google

lingsche Lösung. Es verhält sich also in letzterer Beziehung wie die Ketonzucker (Ketosen), mit denen es das Radikal —CO.CH(OH)— gemeinsam hat. Das Benzoin dient als leicht zu beschaffendes Ausgangsmaterial zur Darstellung vieler Verbindungen der Diphenyläthangruppe; durch mäßige Oxydation entsteht Benzil, durch Reduktion Desoxybenzoin, Hydrobenzoin und Dibenzyl, durch stärkere Oxydation Benzoesäure. Das Studium des Benzoins, das bereits von Liebig und Wöhler begonnen wurde, ist von großer Bedeutung für die Theorie der aromatischen Verbindungen gewesen. Ueber Farbreaktionen in Gegenwart von Benzil (vgl. den folgenden Abschnitt).

5. **Benzil** $C_6H_5.CO.CO.C_6H_5$ wird dargestellt durch Oxydation von Benzoin mit Salpetersäure. — Gelbe Prismen, Schmelzpunkt 95°. Liefert beim Kochen mit alkoholischer Kalilauge Benzilsäure (s. diese). Mit kalter alkoholischer Kalilauge gibt Benzil in Gegenwart von Benzoin eine Violettfärbung, die zum Nachweis beider Verbindungen benutzt wird. Benzil bildet mit Hydroxylamin, je nach den Mengenverhältnissen 2 Benzilmonoxime $C_6H_5.C=(N.OH).CO.C_6H_5$ und 3 Benzildioxime $C_6H_5.C=(N.OH).C=(N.OH).C_6H_5$, deren Studium von großer Bedeutung für die Stereoisomerie der Oxime und aller anderen Verbindungen mit —C=N-Bindung gewesen ist. Stereoisomere Phenylosazone des Benzils $C_6H_5.C=(N.NH.C_6H_5).C=(N.NH.C_6H_5).C_6H_5$ entstehen bei der Oxydation von Benzaldehydphenylhydrazon durch Luft in alkalischer Lösung. Farblose bezw. schwach gelbe Substanzen, die durch stark phototrope (s. den Artikel „Phototropie") Eigenschaften ausgezeichnet sind.

Analog wie Benzil entsteht Anisil $H_3C.O.C_6H_4.CO.CO.C_6H_4.O.CH_3$ aus Anisoin, Cuminil $C_3H_7.C_6H_4.CO.CO.C_6H_4.C_3H_7$ aus Cuminoin, Piperil $(CH_2O_2):C_6H_3.CO.CO.C_6H_3:(O_2CH_2)$ aus Piperoin usw.

6. **Stilbene** $C_6H_5.CH=CH.C_6H_5$. Das Stilben (Schmelzpunkt 125°) entsteht auf verschiedenen Wegen aus Verbindungen der Diphenyläthanreihe, beim Erhitzen von Benzylsulfid, beim Ueberleiten von Toluoldämpfen über glühendes Bleioxyd und aus Benzylmagnesiumchlorid und Benzaldehyd. Auch durch Abspaltung von Kohlensäure aus Zimtsäurephenylester wird glatt Stilben gebildet.

Das Isostilben, flüssig, Siedepunkt 139 bis 145°, wird erhalten bei der Reduktion des bei +19° schmelzenden Bromstilbens. Beide Stilbene sind stereoisomer. Das Isostilben verwandelt sich leicht in Stilben beim Erhitzen unter Atmosphärendruck, durch Bestrahlung mit Sonnenlicht, oder in Gegenwart von wenig Brom oder Jod.

2,2'-Dinitrostilbene $NO_2.C_6H_4.CH=CH.C_6H_4.NO_2$ werden dargestellt aus o-Nitrobenzylchlorid und Kalihydrat. Sie sind stereoisomer, das hochschmelzende ist hellgelb, das niedrigschmelzende ist farblos.

4,4'-Dinitrostilben, gelb, entsteht neben einem Isomeren aus p-Nitrobenzylchlorid und Kalilauge. Es wird zu dem gelben 4,4'-Diaminostilben reduziert.

4,4'-Diaminostilben-2,2'-disulfonsäure

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{H_2N}{HO_3S}\!\!>\!C_6H_3—CH=CH—C_6H_3\!<\!\!\genfrac{}{}{0pt}{}{NH_2}{SO_3H}.$$

Aus dieser Säure entstehen durch Diazotieren und Kuppeln mit Phenolen, Naphtolen oder Phenolcarbonsäuren (ähnlich wie aus Benzidin) Tetrazoverbindungen, die als substantive Baumwollfarbstoffe Verwendung finden; Brillantgelb, Chrysophenin, Hessisch Gelb usw.

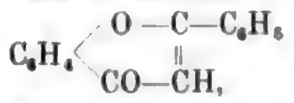
Die Diacetyl- und die Diformylderivate dieser Säure, sind ebenso wie ihre Salze stark phototrope Stoffe.

7. **Tolan** $C_6H_5.C\equiv C.C_6H_5$ entsteht bei der Einwirkung von Kalilauge auf Stilbendibromid. — Schmelzpunkt 60°. Es addiert 2 bezw. 4 Atome Wasserstoff oder Halogen unter Bildung von Stilben, Dibenzyl oder deren Halogenderivaten.

8. **Anhang.** An das Diphenyläthan reihen sich die Gruppen des Diphenylpropans, Diphenylbutans, Diphenylpentans usw. an. Nur einige Abkömmlinge dieser Kohlenwasserstoffe seien hier erwähnt.

Benzalacetophenon $C_6H_5.CH=CH.CO.C_6H_5$, darstellbar aus Benzaldehyd und Acetophenon. Gelb. Schmelzpunkt 58°.

Benzal-oxy-acetophenon $HO.C_6H_4.CO.CH=CH.C_6H_5$, aus Benzaldehyd und o-Oxyacetophenon, ist das Ausgangsmaterial für die Synthese des Flavons



der Grundsubstanz von gelben, in unseren heimischen Pflanzen vorkommenden Farbstoffen, dem Chrysin (in den Pappelknospen), dem Quercetin (in der Färbereiche und in den Zwiebelschalen), dem Luteolin in der Reseda usw.

Dypnon $C_6H_5.C(CH_3):CH.CO.C_6H_5$ ist ein Homologes des Benzalacetophenons, darstellbar durch Kondensation von 2 Mol. Acetophenon mit Chlorzink (vgl. den Artikel „Ketone", Darstellung von Mesityloxyd aus Aceton). Siedepunkt 225° bei 22 mm.

Diphenylbutadiën $C_6H_5.CH=CH.CH=CH.C_6H_5$ ist der Stammkohlenwasserstoff der Fulgensäuren, deren Anhydride, die Fulgide, durch glänzende Farben, gelb, orange, rot bis purpur ausgezeichnet sind. Die Fulgide z. B. das zitronengelbe Diphe-

Digitized by Google

nylfulgid $C_6H_5.CH{=}C \quad C{=}CH.C_6H_5$

$$\begin{array}{c} C_6H_5.CH{=}C\qquad C{=}CH.C_6H_5 \\ | \qquad\qquad | \\ CO-O-CO \end{array}$$

sind phototrop. Sie werden bei längerer Belichtung ihrer Lösungen zuerst in andersfarbige stereoisomere Fulgide, später in farblose Naphtalinderivate verwandelt.

Von dem Diphenylbutadiën leitet sich ferner ab die Vulpinsäure

$$\begin{array}{c} COOCH_3 \\ | \\ C_6H_5-C{=}C-C(OH){=}C-C_6H_5 \\ | \qquad\qquad | \\ O \qquad\qquad CO \end{array}$$

Sie findet sich in der Wolfsflechte (Cetraria vulpina, Lichen vulpinus Linn., Cornicularia vulpina De Candolle), die im Kjölengebirge Norwegens und an den Arven der Bündtner und Walliser Alpen usw. vorkommt; man verwendet sie als Wolfs- oder Fuchsgift in Norwegen, und zum Färben in Südtirol. — Gelbe Blätter, Schmelzpunkt 148°. Durch Verseifen mit Kalkmilch entsteht die Pulvinsäure

$$\begin{array}{c} COOH \\ | \\ C_6H_5.C{=}C-C(OH){=}C-C_6H_5 \\ | \qquad\qquad | \\ O \qquad\qquad CO \end{array}$$

die auch direkt aus der Flechte gewonnen werden kann. Ein der Pulvinsäure nahe verwandter Flechtenstoff ist die Rhizocarpsäure. Durch Reduktion entstehen aus der Pulvinsäure die Carboxycornicularsäure, Cornicularsäure, Dihydro- und Tetrahydrocornularsäure, die auch auf synthetischem Wege dargestellt worden sind.

Diphenyldiacetylen $C_6H_5.C \equiv C - C \equiv C.C_6H_5$ ist der Stammkohlenwasserstoff des Indigos. Er wird dargestellt durch Oxydation des Phenylacetylenkupfers $C_6H_5.C{\equiv}C.Cu$.

Di-o-Nitrodiphenyldiacetylen

$$C_6H_4\begin{matrix} \diagup C\equiv C-C\equiv C \diagdown \\ \diagdown NO_2\quad O_2N \diagup \end{matrix}C_6H_4,$$

darstellbar aus o-Nitrophenylacetylenkupfer, liefert mit Schwefelsäure Diisatogen, das durch Reduktion mit Schwefelammonium Indigoblau bildet.

Dibenzalaceton $C_6H_5.CH{=}CH.CO.CH{=}CH.C_6H_5$, gelb, darstellbar aus Benzaldehyd und Aceton, bildet, wie viele seiner Kernsubstitutionsprodukte mit Säuren tieffarbige, teils sehr unbeständige Salze. Das Studium dieser „Halochromie" genannten Eigenschaft hat wertvolle Beiträge geliefert zu den Beziehungen zwischen Farbe und Konstitution organischer Verbindungen.

Literatur. *Siehe oben „Diphenylgruppe".*

H. Stobbe.

Porifera.

1. Allgemeines. 2. Bau und Kanalsystem. 3. Histologie. 4. Entwickelung. 5. System. 6. Physiologie. 7. Biologie.

1. Allgemeines. Die Poriferen oder Spongien, im Deutschen mit dem doppeldeutigen, auch im Pflanzenreich gültigen Ausdruck „Schwämme" bezeichnet, sind vielzellige Tiere von sehr niedriger Organisationsstufe. Laut Ansicht mancher Autoren nicht einmal eigentliche „Gewebstiere", sondern Zellvereinigungen. Ihr Körper wird von einem Hohlraumsystem durchzogen, das außen mit zahlreichen Oeffnungen beginnt (Poren, daher der Name) und mit einer Hauptöffnung endigt (Osculum). Das Hohlraumsystem zeigt eine sehr verschiedene Komplikation bei den einzelnen Gruppen

Fig. 1. Schnitt durch die Geißelkammer eines Süßwasserschwammes. Nach Vosmaer und Pekelharing.

der Schwämme; übereinstimmend bleibt aber, daß bestimmte Strecken mit einer eigentümlichen, bei anderen vielzelligen Tieren nicht vorkommenden Zellsorte, den Kragengeißelzellen, epithelartig besetzt sind. Im übrigen Körper ist eine epithelartige Anordnung von Zellen viel weniger festzustellen; es handelt sich da um ein Zellenaggregat mit mehr oder minder entwickelter Bindesubstanz, das an der Oberfläche durch Zusammenschluß von Zellen gedeckt sein kann, und im Innern Hartgebilde entwickelt, entweder von kohlensaurem Kalk, gleich Kristallnadeln, oder von Kieselsäure, gleich Glas, oder von einer hornartigen Substanz (Spongin) oder auch von beiden letzteren zusammen. Diese Hartgebilde sind nicht kompakte Massen, sondern bilden ein Gerüst, je nach dem Material starrer oder biegsamer. Nicht nur durch das Hohlraumsystem ist also eine „schwammige" Struktur gegeben, sondern auch innerhalb des Gewebes selbst durch das hindurchziehende Skelett, wie es besonders nach

Digitized by Google

Austrocknung oder Zerstörung des Weichkörpers übrig bleibt (Badeschwamm!).

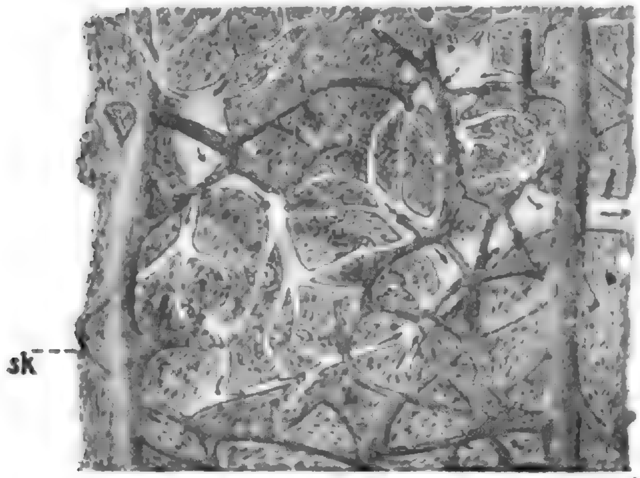


Fig. 2. Schematischer Schnitt durch den Weichkörper eines Hornschwammes (Badeschwamm) mit seinem Hohlraumsystem (↑_) und dem Skelett aus Hornfasern (sk). Aus Maas und Renner, Biologie.

Durch das Material, aus dem das Skelett besteht, sind systematische Unterscheidungen ermöglicht, die zum Teil mit Unterschieden im Weichkörper und Kanalsystem Hand in Hand gehen. Man teilt danach die Poriferen ein in: I. Calcispongia, Kalkschwämme, II. Hexactinellida, Kieselschwämme, deren Skelette sich auf Nadeln von dreiachsigem Bau zurückführen lassen (Triaxonia) und III. Demospongiae, bei denen sowohl Kieselnadeln, wie Hornsubstanz in verschiedenem Verhältnis als Skelettmaterial dienen können. Die Kieselnadeln lassen sich bei ihnen entweder auf einen vierachsigen Bau beziehen (Tetraxonia), oder es sind Einstrahler (Monaxonia), durch Hornsubstanz zum Teil verbunden (Cornacuspongia); zum Teil dient nach Schwund der Kieselnadeln die Hornsubstanz allein als Skelett (Fibrospongia). Skelettlose Schwämme bilden keine besondere Unterabteilung, sondern können nach dem Bau des Weichkörpers und Kanalsystems zu den verschiedenen Gruppen der Demospongia gestellt werden.

Alle Spongien sind Wasserbewohner, leben fast durchweg im Meer und nur eine geringe Zahl von Gattungen und Arten aus einer engbegrenzten Gruppe kommt im Süßwasser vor. Durch das Spiel der Geißeln der erwähnten Zellen wird ein Wasserstrom erzeugt, der für den ganzen Lebensprozeß der Spongien ausschlaggebend ist, Nahrungsteilchen hereinbringt und bei der Atmung und bei der Ausscheidung mithilft. Dieser Wasserstrom ist aber fast die einzige Bewegung und Lebensäußerung, die am erwachsenen Tier beobachtet werden kann. Die Schwämme sitzen am oder im Boden fest, bilden sehr verschiedene äußere Formen, flache Krusten, massige Klumpen, hohle Zylinder und Becher oder baumartige Verästelungen.

Schon wegen der äußeren Erscheinung und der geringen animalen Betätigung hat man früher die Spongien unter die Zoophyten, und bei dem weiteren Fortschritt der Klassifikation unter die Coelenteraten (siehe den Artikel „Coelenterata") wegen ihres Hohlraumsystems eingereiht. Es hat sich aber immer mehr herausgestellt, daß so wenig wie durch die äußere Form und das Festsitzen, auch durch den inneren Bau eine nähere Verwandtschaft der Poriferen und Coelenteraten begründet ist. Ob man von dem Hohlraum als solchem ausgeht oder von seiner zelligen Umkleidung, ob man die Entwickelung oder die vergleichende Anatomie der Erwachsenen als ausschlaggebend ansieht, stets ergeben sich bedeutsame Verschiedenheiten. Die Aehnlichkeit, welche einfach organisierte schlauchförmige Poriferenformen mit einem Polypen zeigen, ist irreführend. Der innere Hohlraum der Poriferen ist sonst nicht einheitlich, sondern zerfällt in Geißelbezirke. Die Hauptöffnung dient nicht, wie bei Coelenteraten, als Mund und After zugleich, sondern nur als Auswurfsöffnung, und die zuführenden Oeffnungen sind selbst bei den niedrigsten Poriferen in Vielzahl vorhanden. Also ist ein solcher „Olynthus" (s. Fig. 4a und Fig. 13) mit der Hydra weder funktionell, noch genetisch zu vergleichen. Eine Hauptachse ist bei nur wenigen Poriferen noch im erwachsenen Zustand zu erkennen; die radiäre Anordnung erscheint bei den meisten verwischt. Auch die gewebliche Ausprägung ist, selbst wenn man auf die Kragengeißelzellen nicht den entscheidenden Wert legen würde, von der der Coelenteraten sehr verschieden. Wenn man schon diese nicht als „Organtiere", sondern als „Gewebstiere" bezeichnen darf, bei denen die Verrichtungen des Körpers nicht an eigentliche Organe, sondern

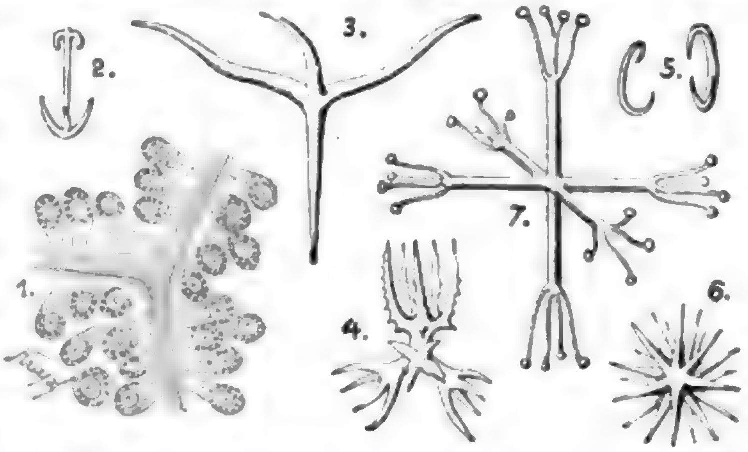


Fig. 3. Skelettstücke von Schwämmen. Nach F. E. Schulze und O. Maas. Aus R. Hertwig, Zoologie. 1. Hornsubstanz mit Bildungszellen, 2. bis 6. Nadeln.

an Zellvereinigungen, Gewebe, geknüpft sind, so nehmen die Spongien eigentlich eine noch niedrige Stellung ein; denn es sind meist nicht aneinandergeschlossene, sondern einzelne Zellen, die die verschiedenen Verrichtungen ausführen. So sind auch keine Gonaden vorhanden, sondern die Genitalzellen sind durch den ganzen Körper zerstreut (vgl. Fig. 9); ferner sind drüsige Ele-

Digitized by Google

mente einzeln an den verschiedensten Stellen der Oberfläche zu erkennen; die Skelettbildner liegen einzeln, und sogar der erwähnte Zusammenschluß der Kragengeißelzellen (s. u.) stellt kein Epithel wie sonst im Tierreich dar. Es ist wohl zu weit gegangen, deswegen die Spongien als Protozoenkolonien und bloße Zellrepubliken anzusehen; aber jedenfalls verdienen sie eine gesonderte Abteilung neben allen übrigen Metazoen (sei es als Parazoa oder Enantiozoa s. u.) und auf keinen Fall dürfen sie zu den Coelenteraten gerechnet werden, auch nicht als deren degenerierte Abkömmlinge.

2. Bau und Kanalsystem. Der Bau und das Kanalsystem sind bei dem so einfach organisierten Organismus eines Schwammes zugleich zu beschreiben, die allgemeine Struktur des Körpers wird erst in zweiter Linie von den Hartgebilden bedingt, die sich ihrerseits gerade nach dem Kanalsystem richten. Mit diesem Ausdruck werden sämtliche Hohlräume bezeichnet, die aber in Ausdehnung, Begrenzung und Entstehung ihrerseits wieder sehr verschiedenartig sind. Gewöhnlich wird bei der Beschreibung von der einfachen Schlauchform ausgegangen, dem sogenannten Ascon oder Olynthus, der sich auch in der Entwickelung mancher komplizierteren Schwämme als länger andauerndes Jugendstadium erhalten hat, und der bei manchen Kalkschwämmen zeitlebens die Dauerform darstellt. Der Körper ist ein einfacher Schlauch, am einen Ende festgeheftet und geschlossen, am anderen Ende frei ins Wasser herausragend und offen. Die ganze seitliche Wand dieses Hohlzylinders ist von kleinen Oeffnungen, Poren, durchbohrt, und der Wasserstrom nimmt seinen Weg von diesen in den inneren Hohlraum und von da nach außen. Der Hohlraum ist bis auf eine kurze Strecke unterhalb der Ausfuhröffnung von den erwähnten Kragengeißelzellen besetzt, die auf diese Weise einen einheitlichen, nur von den Poren unterbrochenen Bezirk darstellen und in ihrer Gesamtheit als Gastrallager bezeichnet werden können. Nach außen ist der Schlauch vom Dermallager bekleidet, das sich auch in den Gastralraum bis zu der erwähnten Grenze der Geißelzellen hereinschlägt. Der Schlauch hat also gewissermaßen eine doppelte Wandung, und die Poren müssen durch die Dermal- wie die Gastralschicht hindurchgehen. Dies gilt als der einfachste oder sogenannte erste Typus des Kanalsystems der Poriferen. Der einheitliche gastrale Hohlraum kann zwar durch seitliche Ausbuchtungen oder durch mäandrische Windungen eine größere Komplikation erlangen, stets aber bleibt er in seiner ganzen Ausdehnung gleichmäßig von Kragengeißelzellen ausgekleidet. Dies ist anders beim sogenannten zweiten Typus. Hier sind ebenfalls Ausbuchtungen vorhanden, die mit dem Zentralraum durch weite Oeffnungen in Verbindung stehen; aber nur diese Ausbuchtungen sind von Kragengeißelzellen ausgekleidet, also gastraler Natur, währenddem die Verbindungsstellen des inneren Hohlraums zwischen diesen Ausfaltungen von der Dermalschicht, die von außen eindringt, bedeckt werden. So ist also schon auf diesem einfachen Stadium die Gastralschicht nicht mehr einheitlich, sondern zerfällt in einzelne Tuben oder „Kammern". Man kann auch zweierlei Abstufungen hier unterscheiden: 1. die Kammern ragen frei heraus; zwischen ihnen liegen Räume der Außenwelt, die aber durch die große Anzahl und die Annäherung der Tuben sehr verengt und dadurch zu Vorläufern von „einführenden Kanälen" werden; 2. es kommen die Außenenden der frei herausragenden und einander genäherten Tuben wirklich zur Verlötung, und so entsteht ein besonderes einführendes

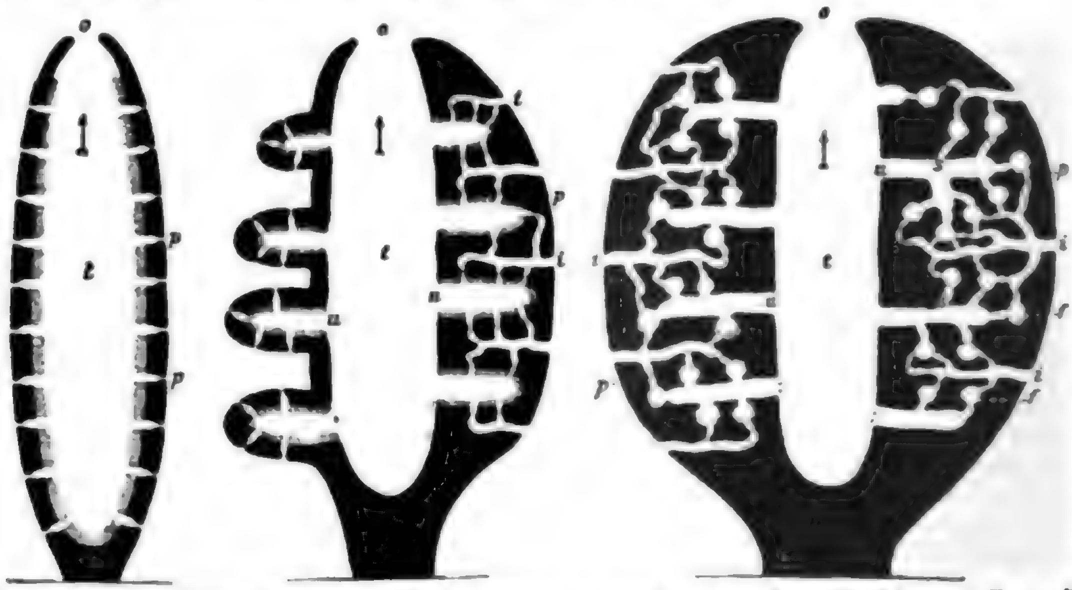


Fig. 4. Fortschreitende Typen des Kanalsystems. p porus, o osculum, i ostium, t Zentralhöhle. Aus Boas, Zoologie.

Digitized by Google

Kanalsystem, nunmehr innerhalb des Schwammes, das erst zu den eigentlichen Poren hinführt. Es müssen deswegen von diesen noch äußere Oeffnungen, sogenannte Ostien, unterschieden werden. Durch die gleichmäßige Verlötung zahlreicher solcher Tuben wird dann äußerlich wieder eine Zylinderform hergestellt; aber deren Wandung ist natürlich von viel komplizierterer Struktur wie beim Olynthus. Der dritte Typus des Kanalsystems ist dadurch gegeben, daß auch die Räume, die von den gastralen Partien nach außen führen, komplizierter werden und sich falten; die Kammern oder Tuben münden dann nicht mehr in einen einheitlichen Raum, sondern je zu mehreren oder vielen in eigene Ausführräume, die sich erst wieder zu einem Hauptrohr vereinigen. Entsprechende Vermehrung der Faltungen ist dann erst recht im zuführenden, dermaler Teil zu erkennen. Man unterscheidet also ein einführendes Kanalsystem, ferner die Kammern und endlich ein ausführendes Kanalsystem, in das diese je mit weiter Oeffnung münden. Andere Komplikationen können noch dadurch entstehen, daß sich das ausführende Kanalsystem von den Kammern ab verengt, so daß noch eigene abführende Kanäle unterschieden werden, ehe der Wasserstrom zum weiten ausführenden System gelangt, und außerdem dadurch, daß im sonst engen einführenden System besondere Erweiterungen (Subdermalräume) auftreten. Dadurch werden in diesem kompliziertesten Fall die Unterschiede zwischen ein- und ausführendem System in bezug auf Kaliber zum großen Teil ausgeglichen, und da auch in beiden die Begrenzung die gleiche durch die dermale Schicht ist, so ist an Durchschnitten oft schwer zu entscheiden, ob solche Räume zum einen oder zum anderen Teil des Kanalsystems gehören, wenn nicht die betreffenden Verbindungen mit der Außenwelt, also ein zuführendes Ostium oder ein ausführendes Osculum auf dem Schnitt mit getroffen sind. Die Schwierigkeit wird auch dadurch erhöht, daß die Kanäle bei den meisten der komplizierter gebauten Schwämme regellos im Körper verteilt erscheinen, und ferner an größeren Schwammkrusten meist nicht eine, sondern mehrere Ausfuhröffnungen auftreten. Nur bei wenigen Schwammtypen besteht eine besondere Lagebeziehung der einzelnen Teile des Kanalsystems zum Gesamtkörper und dadurch auch eine bessere Ordnung im Sinne des Radiärbaues, so bei den Hexactinelliden eine regelmäßige Schichtung von außen nach innen, und bei vielen Tetractinelliden eine Scheidung von Rinde und Mark. Das letztere enthält vorwiegend die Kammern, sowie die ihnen zunächst folgenden Kanäle und die Umgebung davon, die erste vorzugsweise das zuführende Kanalsystem. Das Skelett braucht nicht die gleiche topographische Scheidung mitzumachen: es gibt Radiärzüge, die sowohl Rinde wie Mark durchsetzen, andere aber mehr tangential angeordnete

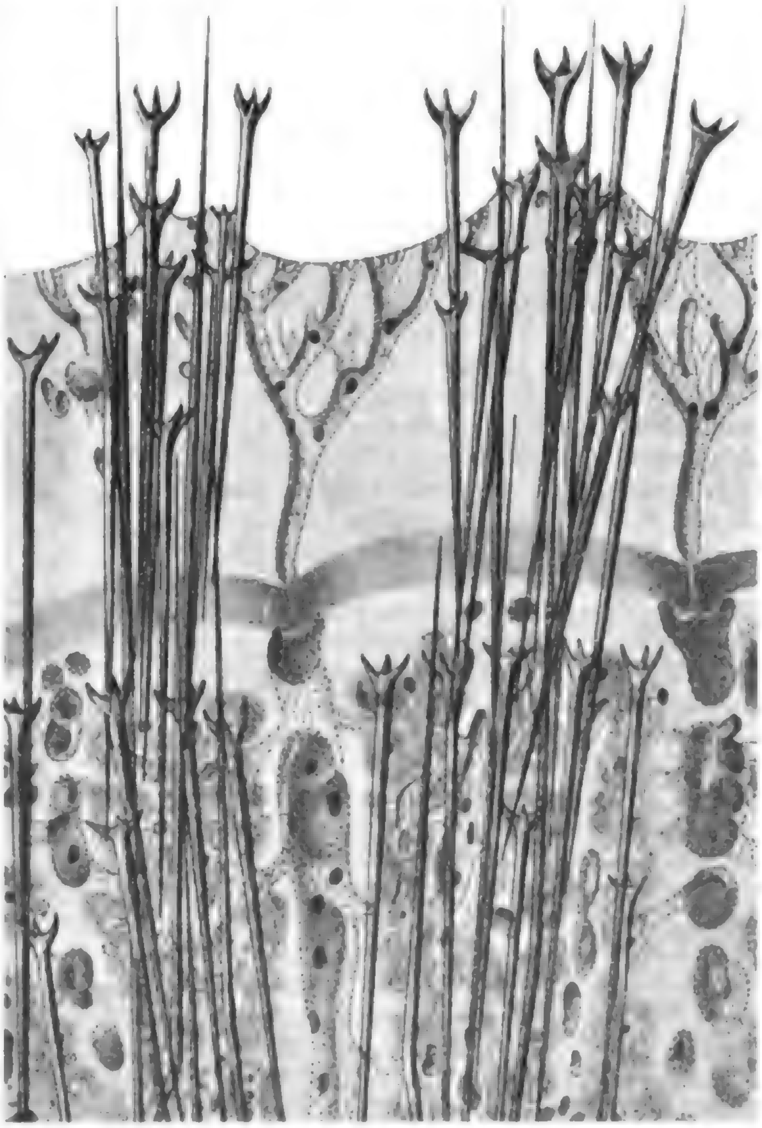


Fig. 5. Schnitt durch einen radiär gebauten Rindenschwamm (Stelletta). Nach v. Lendenfeld und F. E. Schulze.

Digitized by Google

Skeletteile folgen ebenfalls dieser Anordnung des Kanalsystems, so daß die Schichtung sich auch an dem Schwammkörper selbst und seinen Hartgebilden deutlich ausspricht.

3. Histologie. Die gewebliche Ausprägung hat bei den Poriferen ganz besondere Wichtigkeit, weil ja die Leistungen des Körpers direkt an bestimmte Zellkategorien geknüpft erscheinen. Die eigenartigsten und im Einzelleben wichtigsten Zellen des Schwammes sind die Kragengeißelzellen (vgl. Fig. 1 u. 6), bei den verschiedensten Schwammtypen ziemlich einheitlich gebaut und fast nur durch Größe unterschieden (bei den Kalkschwämmen etwa 5 bis 9, bei den übrigen nur 3 μ). Die Zellen selbst sind zylindrisch, können passiv durch Veränderung der übrigen Gewebe noch mehr gestreckt werden und sich aktiv auch verkürzen und abflachen. Das Plasma selbst ist stark vakuolisiert und zeigt außerdem mehrere oder eine besonders große Vakuole. Die Zellen stehen nebeneinander, berühren sich mit ihren Seitenflächen zum Teil, weichen aber basal auch wieder auseinander und bilden dadurch unter Umständen nur ein lockeres Maschenwerk (von der Fläche gesehen „Membrana reticularis"). Auch die Kragen ragen in normalem Zustand an jeder Zelle frei in den Hohlraum der Kammer. Kragen und Zelle selbst wechseln in relativer Größe und Höhe; es gibt Fälle, wo der Kragen fast die Hälfte der Zellhöhe einnimmt. Sein Plasma ist basal etwas dicker und granulär, dann nach außen zu immer dünner und heller; eine besondere Struktur der Kragen (spiralige Leiste oder aufeinanderfolgende Ringe) ist nicht sicher nachgewiesen. Vom Inneren des Kragenraumes ragt die starke Geißel nach außen, die Zelle selbst öfters an Länge um ein Mehrfaches übertreffend. Basal ist die Geißel im Plasma der Zelle bis zu einem bestimmten, besonders färbbaren Körperchen zu verfolgen, das nach neueren Untersuchungen als Blepharoplast (Vergleich mit Protozoen) oder als Centrosom bezeichnet wird und jedenfalls bei der Teilung der Geißelzelle eine wichtige Rolle spielt; seine Teilung soll der des Kernes in typischer Weise vorangehen. Die Zellteilung selbst kann in der Querrichtung geschehen, so daß nachher die eine Tochterzelle den basalen, die andere den distalen Teil samt Kragen und Geißel neubilden würde. In den bestbeobachteten Fällen erfolgt sie aber in der Längsrichtung der Zelle, also tangential zur epithelialen Anordnung, so daß auf jede Zelle alle Plasmasorten und Differenzierungen gleichmäßig übergehen können. Es wird aber doch die Geißel stets und meist auch der Kragen eingezogen und in den Tochterzellen neugebildet. Ein solches Einziehen von Kragen und Geißel findet auch in verschiedenen anderen Zuständen der Zelle, normalen wie pathologischen, z. B. bei Ueberfütterung und im Involutionszustand statt. Die ganze Zelle gleicht dann mit ihren basalen Plasmafortsätzen zunächst einer Amöbocyte, kann aber nicht aktiv wandern, wie die betreffenden Zellen der Dermalschicht. Solche veränderten Geißelzellen beteiligen sich auch nicht aktiv an deren Leistung, sondern runden sich ab und können nur passiv gleich einem Nährmaterial von Zellen der Dermalschicht aufgenommen werden, was ebenfalls in abnormen Zuständen deutlich zu beobachten ist.

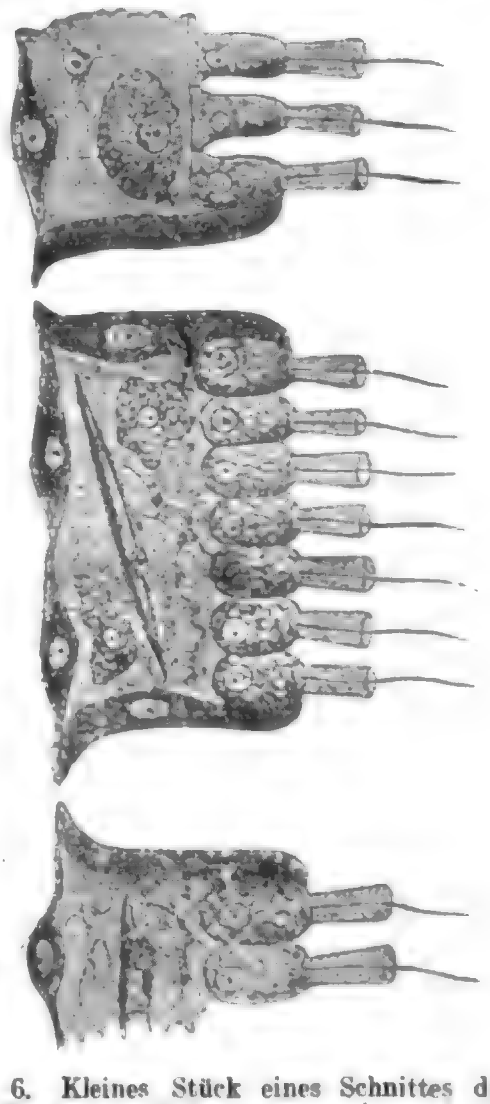


Fig. 6. Kleines Stück eines Schnittes durch die Wand eines Kalkschwammes (Ascon). Zum Teil nach Minchin. Aus Boas, Zoologie.

Die Gesamtheit aller übrigen Zellen kann dem „Gastrallager" der Geißelzellen als „Dermallager" gegenübergestellt werden; der Schwamm besteht also nicht aus 3 Schichten, Ektoderm, Mesoderm, Entoderm, sondern ist nur zweischichtig. Ein besonderes Deckepithel kann von einer darunterliegenden Bindegewebslage weder genetisch, noch histologisch unterschieden werden. Beide sind

Digitized by Google

durch Uebergänge, während der Entwickelung und auch noch im späteren Leben, verbunden und auch bei den verschiedenen Schwammgruppen in ganz unterschiedlicher Stärke ausgebildet. In vielen Fällen wird überhaupt keine Bindesubstanz ausgeschieden, sondern die ganze Dermalschicht stellt ein Netzwerk von untereinander verbundenen Zellen dar, in anderen Fällen ein richtiges Syncytium, in wieder anderen Fällen ist eine Grundsubstanz schwach entwickelt, in die hinein Zellen und Zellprodukte gehen. Dadurch wird erst allmählich ein Unterschied von Oberfläche und Zwischensubstanz herbeigeführt, und die Zwischensubstanz braucht nicht immer epithelartig gedeckt zu sein. Selbst bei den höchstdifferenzierten Schwämmen ist eine einfache cuticulare Erstarrung nach außen oder ein nacktes Zutagetreten der Bindesubstanz möglich; ebenso allerdings in anderen Fällen ein Zusammenschluß der Zellen des Dermallagers zu einem richtigen Deckepithel.

Nach der histologischen Ausprägung der einzelnen Zellen, die entweder noch mehrere Funktionen in sich vereinigen können oder sich für besondere Leistungen spezialisieren, lassen sich mehrere Kategorien unterscheiden, die auch bei den verschiedenen Systemgruppen der Spongien zu verschiedener Höhe entwickelt sein können. Bei den Kalkschwämmen sind die Dermalzellen zu gleicher Zeit kontraktil, können auch die Skelettbildung übernehmen und drüsig sein; bei den Hexactinelliden zeigen sie keinerlei Kontraktilität, dagegen bahnt sich eine Arbeitsteilung zwischen Skelettbildnern und gewöhnlichen, ein verzweigtes Netz darstellenden Dermalzellen an; bei den Demospongien sind alle Stadien der Arbeitsteilung, Deck-, Epithel-, Bindegewebs-, kontraktile, skelettbildende, drüsige und andere Zellsorten zu unterscheiden, ontogenetisch und phylogenetisch in verschiedenen Abstufungen. Deckzellen sind zum Teil flach, zum Teil aber mit einem großen Teil ihres Plasmas nach innen zu ragend, so daß sie im Schnitt eine Hammerform aufweisen, aus der eine falsche Auslegung oft zwei Zellen, eine flache „Ektoderm“- und eine darunterliegende „Bindegewebs“zelle gemacht hat. Man kann aber alle Abstufungen von solchen hammerförmig in die Tiefe gerückten bis zu ganz flach ausgebreiteten Deckzellen konstatieren. Schon darin gibt sich eine gewisse Beweglichkeit kund, die bei den sogenannten kontraktilen Faserzellen nur noch gesteigert ist. Diese unterscheiden sich eigentlich nur durch die Spindelform und ihre Aneinanderlagerung von den gewöhnlichen Dermalzellen; das Plasma selbst besorgt die Kontraktilität, besonders ein hierfür abgesetzter, etwas hellerer und wenig granulärer Saum. Eine eigene Faserstruktur, die sie zu Muskelelementen machen würde, kann an ihnen nicht unterschieden werden, auch bietet ihre Lage und Form kein durchgreifendes Kennzeichen gegenüber den Epithelzellen; denn selbst wo sich eine Anzahl solcher Elemente wie an den Auswurfsöffnungen zu Schließmuskeln, „Sphincteren“, vereinigen, liegen diese noch zum Teil ganz oberflächlich und bilden selbst noch einen Teil des Epithels oder Syncytiums. Ebenso gehören die drüsigen Zellen noch durchaus zu den Zellen der Oberfläche. Eine besondere Kategorie von ihnen kann namentlich bei den Kalkschwämmen als Porenzellen unterschieden werden. Sie zeigen, intrazellulär und

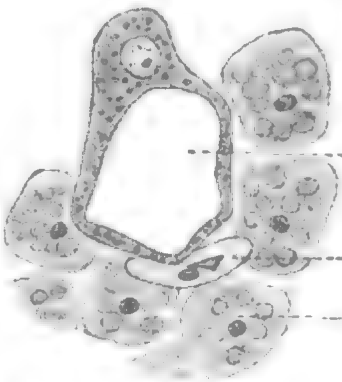


Fig. 7. Porenzelle von Sycon. Nach Maas. Aus K. C. Schneider, Vergleichende Histologie. P Porus, Sk Skelettzelle, G Gastralzelle.

je nach dem Zustand der Zelle mehr oder minder weit geöffnet, den Eingangsporus in die Kammer, resp. in den Gastralraum, während der Porus zwischen den Gastralzellen eine interzelluläre Lücke darstellt. Die Porenzellen können bei den Kalkschwämmen außer diesen Leistungen auch noch drüsige Funktion haben, von Körnchen dicht erfüllt, und auch noch an der Bildung des Skeletts durch Erzeugung einzelner Spicula und Spiculastrahlen beteiligt sein. Bei den Demospongien scheint ihnen eine besonders gekörnelte und mit dem Transport und der Ausscheidung von Stoffwechselprodukten betraute Kategorie von Zellen zu entsprechen.

Die bedeutsamste Arbeitsteilung ist die zwischen gewöhnlichen Dermalzellen und differenzierten Binde- oder Skelettzellen andererseits, die aber auch niemals zu einer absoluten Scheidung wird. Die meist schwache Bindesubstanz ist ein Produkt der Dermalzellen selbst, an sich strukturlos, in die erst mit zunehmender Differenzierung die Produkte der Dermalzellen zu liegen kommen. Wohl durch den Vergleich mit Coelenteraten, bei denen es ja zu einer gewaltigen Gallertausbildung kommt,

Digitized by Google

ist die Bedeutung der „Grundsubstanz" bei Poriferen vielfach überschätzt worden. Sie ist hier immer nur im Anschluß an die Dermalzellen selbst entwickelt, niemals, auch bei den skelettlosen Formen, eine selbständige, auf größere Strecken hin einheitliche Ausscheidung, in die dann erst Zellen hineinwanderten. Auch kann keine eigene Kategorie von Binde- oder Skelettelementen, die sich in ihr autogen vervielfältigen würden, unterschieden werden, sondern zeitlebens können Dermalzellen zu Bindezellen werden. Sie unterscheiden sich von den Wanderzellen, die gleichfalls in den tieferen Lagen der Dermalschicht zu finden sind, durch viel spitzere Pseudopodien, helleres Plasma und meist auch durch das hier deutlich wahrnehmbare Kerngerüst. Eine weitere Scheidung innerhalb dieser Parenchym- oder Bindegewebszellen von den eigentlichen Skelettzellen ist nur graduell; auch vertreten sich diese Kategorien gegenseitig. Bei niedrigen Kalkschwämmen können z. B. nur Spiculabildner, aber keine eigentlichen Bindegewebszellen unterschieden werden; bei den sogenannten Myxospongien oder skelettlosen Schwämmen kommen umgekehrt keine Spiculabildner, sondern nur Bindegewebszellen mit faserigen Ausläufern vor. Solche faserigen Ausläufer können bei einer Reihe voh Schwämmen die einzige Festigung darstellen, hier aber eine große Entfaltung gewinnen und ganze Züge von bestimmter Richtung und Durchflechtung zeigen, so daß dadurch eine feste Konsistenz erzielt wird.

Die Hartgebilde selbst kommen bei den Poriferen nicht in Form von Platten oder Massen, sondern als einzelne bestimmt geformte Ausscheidungen mineralischer Substanz (Karbonat oder Kieselsäure), als sogenannte Spicula oder Nadeln vor. Größere Massen mineralischer Substanz erscheinen nur ausnahmsweise und als Verlötung von Einzelspicula. Alle Spicula entstehen in Zellen (s. Fig. 7 s) und wachsen durch Apposition. Die Mutterzelle kann sich weiter vermehren, so daß in manchen Fällen zur Abscheidung eine Art Syncytium von allerdings nur wenigen Zellen vorliegt; es können auch noch weitere Zellen aus dem Dermallager nachträglich an ein begonnenes Spiculum zu dessen Vergrößerung und Ausgestaltung herantreten. Nicht nur die mineralische Substanz, sondern auch die Form des Spiculums kann von systematischer Bedeutung sein. Sie erweist sich meist als aus „Strahlen" zusammengesetzt, die von einem Wachstumszentrum ausgehen und sich auf im Raum gedachte Achsen geometrisch beziehen lassen. Stellt man sich die drei Ebenen vor, die sich im Raum in rechten Winkeln gegenseitig schneiden, so lassen sich daraus dreiachsige Nadeln (Triaxonia) herleiten, die aber entsprechend den zwei Enden jeder Achse dann sechsstrahlig werden (vgl. Fig. 9). An diesem dreiachsigen System, dessen einzelne Strahlen sich demnach in Winkeln von 90 oder 180° treffen, können dann Reduktionen eintreten, so daß je nachdem nur die einen Enden der Achsen zu Strahlen entwickelt sind, die anderen miteinander zusammenstoßen. Kreuzförmige Nadeln lassen sich noch aus solchen Sechsstrahlern im dreiachsigen System herleiten. Das zweite System ist das der Vierstrahler (Tetraxonia), so zu denken, daß innerhalb einer Kugel sich deren Radien in gleichem Winkel treffen. Es entstehen so gleiche Winkel von 120° zwischen den einzelnen Strahlen, die im Mittelpunkt zusammenstoßen. Die Strahlen können gleichmäßig oder ungleichmäßig ausgebildet sein, besonders kann ein Strahl stark verlängert sein, so daß die übrigen nur als eine geteilte Spitze ihm ansitzen, oder es können die Strahlen auch noch weite Verästelungen bekommen (vgl. Fig. 3 u. 5). Aus den ersteren kann man sich stecknadelförmige und weiter vereinfachte einachsige Nadeln (Monaxonia) hervorgegangen denken, aus den letzteren durch zunehmende Komplikation, Unregelmäßigkeiten und eventuelle Verschmelzung die Vielstrahler (Polyaxonia).

Die Spicula der Kalkschwämme bestehen zum größten Teile aus Calcit, und zwar zeigt die Mineralsubstanz eine durchaus kristallinische Schichtung. Ein organischer Achsenfaden und eine ebensolche äußere

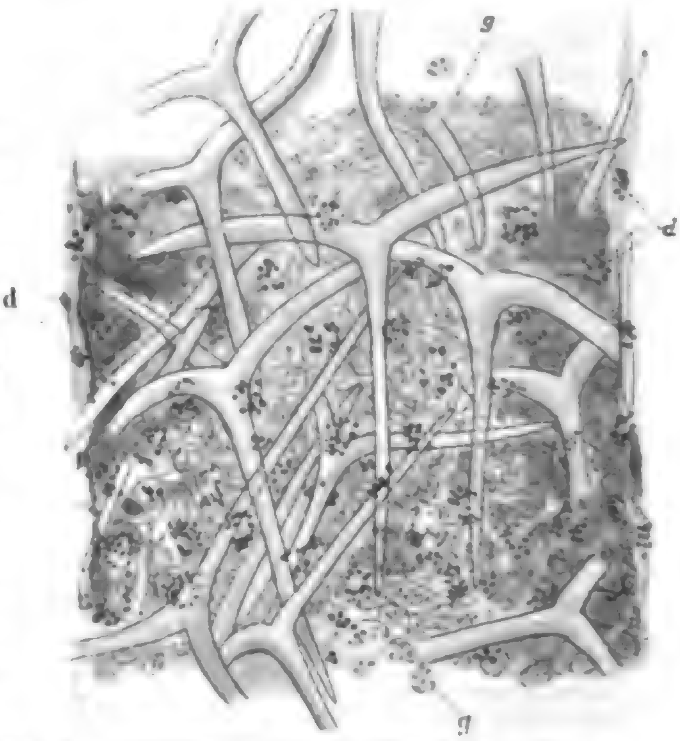


Fig. 8. Aufsichtsbild aus der Wand eines Kalkschwammes (Leucosolenia). d Dermalzellen, g Gastralzellen. Nach Maas.

Digitized by Google

Scheide sind kaum entwickelt. Die drei- und vierachsigen Formen sind nicht rein geometrisch, sondern zeigen Biegungen der Strahlen, entsprechend der Rundung des zylindrischen Schwammes oder der Tuben. Auch gebogene Einstrahler gleich Krückstöcken und Stimmgabeln kommen bei den Kalkschwämmen normalerweise vor. Alle diese Gebilde, „Biokristalle", sind nicht als ein Mittelding zwischen organischer und anorganischer Ausscheidung zu betrachten, sondern diese beiden Ausscheidungsprozesse gehen nebeneinander einher und sind auch durch das Experiment trennbar.

In karbonatfreiem Wasser kann von den Bildungszellen eine organische drei- oder vierstrahlige Form hergestellt werden ohne jede Mineralsubstanz. Bei nachträglichem Zusatz von Karbonat, auch nur in Spuren, kann dann die kristallinische Abscheidung eintreten. Ist der Zusatz sehr spät erfolgt und eine Anomalie in den Bildungszellen bereits eingetreten, so können äußerlich ganz unregelmäßige, knorrige Spiculaformen erscheinen; die innere Struktur ist aber nach Doppelbrechung, Schichtung usw. die des Calcits.

Etwas starrer erscheint die Mineralsubstanz (Kieselsäure) bei den Hexactinelliden und anderen Kieselschwämmen, trotzdem eine eigentliche Kristallstruktur nicht zu erkennen ist: Kolloide Kieselsäure liegt mit organischer Substanz abwechselnd in konzentrischen Lamellen. Der Achsenfaden ist hier sehr deutlich und zeigt die Drei- oder Vierstrahligkeit manchmal noch an, wenn auch die mineralischen Strahlen reduziert sind und Einstrahler vortäuschen. Daß die Mineralsubstanz bei Hexactinelliden einerseits mit ihren triaxonen Nadeln, bei Demospongien andererseits mit den tetraxonen und monaxonen Nadeln strukturell verschieden ist, also jeweils eine andere Modifikation der Kieselsäure darstellt, ist nicht bewiesen, aber immerhin wahrscheinlich, da beide Gruppen ihrem inneren Bau nach ganz verschieden sind und ihre Skelettsubstanz wohl unabhängig erworben haben.

Schon bei Kalkschwämmen, mehr noch bei Hexactinelliden und ganz besonders bei Demospongien lassen sich nach der Funktion, der Ausprägung und besonders der Größe zweierlei Nadeln: Haupt- oder Skelettnadeln (M e g a s k l e r e n) und sogenannte Fleischnadeln (M i k r o s k l e r e n) unterscheiden. Die ersteren können zu Zügen vereinigt sein, entweder durch bloße Verschränkung oder durch einen Kitt, und zwar sowohl durch die entsprechende Mineralsubstanz (Calcit oder Kieselsäure) oder auch durch eine besondere organische Substanz (Spongin). Sie (die Megaskleren) zeigen meist die typischen Formen der Drei-, Sechs-, Vier- oder Einstrahler. Die Mikroskleren liegen einzeln im Gewebe zerstreut, dienen wohl zur Spannung zarter Membranen, zum Schutz von Fortpflanzungskörpern (s. u.) und zeigen die merkwürdigsten Formen (Anker, Schaufeln, Pantoffeln, Hemdknöpfchen), für die weder in der Mineralsubstanz, noch in der organischen Inanspruchnahme bis jetzt eine ausreichende Erklärung gefunden ist. Im Gegensatz zu solchen Typen kommt es bei einzelnen Hexactinelliden zu gigantischen Kieselnadeln, die auch die gewöhnlichen Megaskleren, die ja meist noch mikroskopisch bleiben, um ein Vielfaches an Größe übertreffen und zu fingerdicken Glasstäben werden können. Hier ist es wohl schwer, sich eine Ausscheidung von einzelnen zerstreuten Zellen aus vorzustellen, vielmehr muß es sich da um eine flächenhafte Absonderung einer ganzen Zellenlage

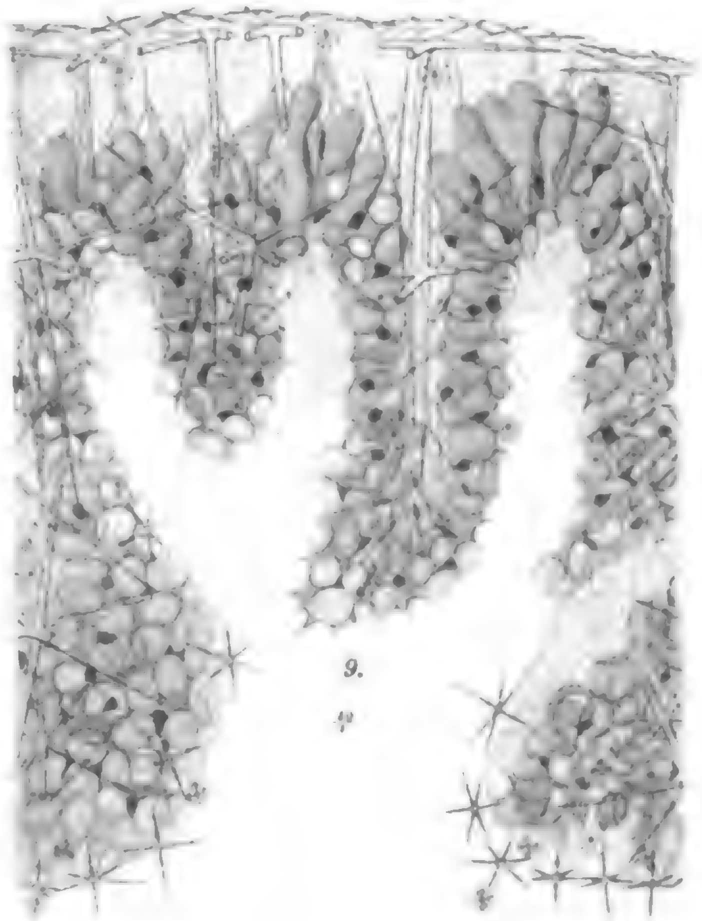


Fig. 9. Schnitt durch die Körperwand einer Hexactinellide (Lanuginella) mit weitem, verzweigtem Ausführkanal, Kammerlage, Archaeocyten und Rinde. Nach I j i m a.

Digitized by Google

handeln, und das gleiche gilt auch für die Kalkmassen, die bei einzelnen abweichenden Gruppen der Kalkschwämme zementierend die Spicula zu Zügen zusammenhalten.

Jedenfalls trifft eine solche cuticulare Art der Abscheidung für das letzte der noch zu behandelnden Hartgebilde, für das **Spongin**, zu, das der chemischen Zusammensetzung nach der Seide verwandt sein soll, übrigens nicht in allen Gruppen chemisch gleich ist, jedenfalls aber **Jod** in Verbindung mit einem

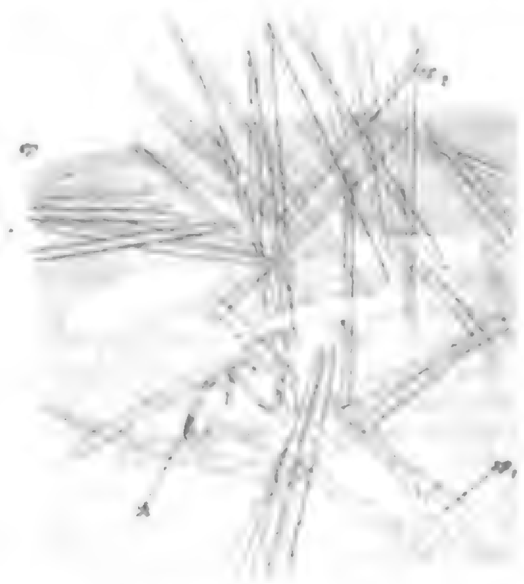


Fig. 10. Anordnung der Nadeln in einer Demospongie (Myxilla). Nach Maas.

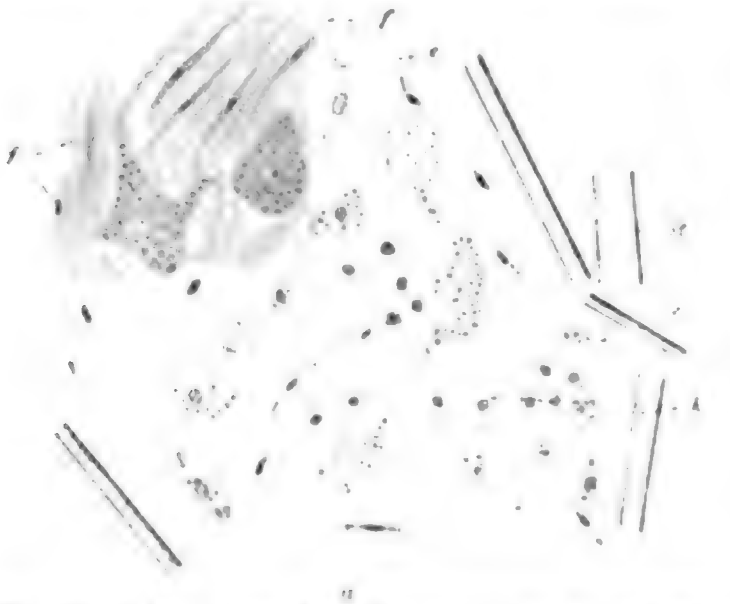


Fig. 11. Schnitt aus dem Knospenkörper eines Kieselschwammes (Tethya) mit verschiedenartigem Zellmaterial. a Archäocyten, e epitheliale Deckzellen, f Faserzellen, k Kammerbildungszellen, st Stabnadeln. Nach Maas.

Eiweißkörper enthält. Die Ausscheidung geschieht für die größeren Fasern deutlich von einer ganzen Anzahl epithelartig zusammengeschlossener Zellen an deren Außenseite (vgl. Fig. 3), und man kann, wie in einer Cuticula, Schichten zeitlich verschiedener Abscheidung voneinander unterscheiden. Zellen dieser Art können sowohl in der Bindesubstanz liegen, als auch noch ihre rein dermale Lage an der Oberfläche beibehalten haben, oder diese Lage wechseln. Auf diese Weise werden Fremdkörper (Sandkörnchen, Foraminiferen-, Muschel- und andere Kalkschalen), die sich oberflächlich angeklebt hatten, mit in die Tiefe gezogen und im Innern der Hornfaser mit zur Stütze verwandt, ebenso wie selbsterzeugte und fremde Spicula. Außer solchen cuticularen Fasern wird noch eine zweite Art spongiöser Substanz, als elastische Fasern, an und in den Zellen erzeugt, unterschieden, die zu ganzen Bündeln und Geflechten, aber stets noch von ihren Zellen selbst plasmatisch begleitet, zusammentreten können. Diese sind aber nicht als Spongin zu betrachten, sondern den früher erwähnten Festigungsgebilden ohne Mineralsubstanz zuzurechnen.

Eine besondere Art von Zellen stellen die **Archäocyten** dar, die als undifferenziertes Material, vom Ei und seiner Furchung her übrig geblieben, zwischen den zu Festigung, Bewegung usw. differenzierten Zellen der Dermalschicht zu finden sind, und die selbst wieder für die Fortpflanzung, sowohl die geschlechtliche wie die ungeschlechtliche, dienen können. Doch liegen diese „Urgenitalzellen" nicht in eine „Gonade" zusammengepackt, wie bei höheren Tieren und schon bei den Coelenteraten, sondern überall zerstreut im Gewebe, und sie sind infolgedessen auch nicht abgesondert oder teilnahmslos beim Individualleben des Schwammes, sondern sie nehmen daran noch tätigen Anteil und zwar, da die sonstige Spezialisierung auf die animalen Leistungen geht, an seinen vegetativen Funktionen, Verdauung, Nahrungsverteilung, Ausscheidung, ähnlich den Leukocyten höherer Tiere. Es sind also mehr zwei Zustände, als zwei Zellkategorien, wenn man zwischen Wanderzellen mit ihren rundlichen, lappigen Pseudopodien und körnchenerfülltem Plasma unterscheidet und zwischen Geschlechtszellen. Die Körnchen der Wanderzellen sind durch Reaktion, Färbefähigkeit verschieden, und es werden danach noch weitere Kategorien, als Freßzellen, Nährzellen und Aufspeicherungszellen (Thesocyten) unterschieden (bei den einzelnen Autoren nicht gleichsinnig),

Digitized by Google

die auch zum Teil nur verschiedene Zustände darstellen. Das gleiche Material sind die Geschlechtszellen und zwar sowohl für die geschlechtliche Fortpflanzung wie für die ungeschlechtliche (s. unten). In beiden Fällen tritt eine Anzahl von Archäocyten zusammen; bei der Knospenbildung bleiben diese ein untereinander gleichwertiges Ausgangsmaterial, bei der Eibildung aber treten phagocytäre Prozesse ein, und schließlich dominiert eine Zelle, die noch die erkennbaren Reste von Körnerplasma und Kern der übrigen in ihrem Körper einschließt, als befruchtungsfähiges Ei. Auch bei der Spermatogenese kommen solche Differenzierungen zwischen dem ursprünglich gleichartigen Material zusammengetretener Archäocyten vor; es können Deckzellen von den eigentlichen Spermatiden unterschieden werden, ferner kann auch beim Ei eine umhüllende und ernährende Lage von Zellen als ein Follikel dazu kommen.

4. Entwickelung. Die Entwickelung ist biologisch dadurch charakterisiert, daß im Gegensatz zur festsitzenden Form des erwachsenen Schwamms freischwimmende Larven hervorgebracht werden. Es werden jedoch (mit Ausnahme der Bohrschwämme) nicht die Eier frei ins Wasser entleert, sondern sie machen ihre ersten Entwickelungsstadien bis zu dieser selbständig beweglichen Larvenform im Körper der Mutter durch; dort hat auch die Befruchtung stattgefunden, indem entweder das mit dem Nahrungsstrom hereingekommene Seewasser als Vehikel für die Spermatiden dient, oder indem ein Austausch innerhalb derselben Kruste durch den Wasserstrom stattfindet, wenn ausnahmsweise Zwitterbildung vorliegt. Die Larve gibt ihre freischwimmende Lebensweise bald auf, und dann erfolgt mit dem Festsetzen die Ausbildung des Kanalsystems, die dementsprechende Verteilung der Zellen und die Ausbildung des Skeletts, dessen einzelne Spicula schon in der Larve vorhanden sein können.

Die Reifungs- und Befruchtungsvorgänge zeigen keine speziellen Anklänge an Protozoen, sondern verlaufen wie bei typischen Metazoen. Im Verlauf der Furchung spricht sich frühzeitig die Sonderung in die drei Hauptzellsorten, die dermalen, die gastralen und die Archäocyten aus; namentlich auch der Unterschied der beiden ersten Kategorien zusammen, der somatischen Zellen, von den letztgenannten, den Keimzellen. Dagegen ist die Reihenfolge dieser Vorgänge bei einzelnen Schwammgruppen etwas verschieden. Stets zwar sind die Geißelzellen resp. deren Bildungszellen, noch ehe die Geißeln am Plasma hervortreten, durch ihre zunehmende Schlankheit und Kleinheit die ersten differenzierten Elemente, die sich erkennen lassen. Bei primitiven Kalkschwämmen und auch bei einer Reihe von einfacher gebauten Kieselschwämmen setzt sich der Keim nun fast ausschließlich aus solchen Geißelzellen und wenigen Archäocyten zusammen. Die dermalen Zellen entstehen dann durch Umformung aus solchen Geißelzellen während des Larvenlebens, und dann erst kann der verbleibende Rest der Geißelzellen als gastrale Elemente bezeichnet werden. Bei der Mehrzahl der Kieselschwämme, speziell aber bei den Kieselhornschwämmen, entwickeln sich auch bei der Furchung aus indifferentem Zellmaterial zuerst die Gastralzellen in ihrer Gesamtheit, dann aber entstehen nicht aus diesen, sondern direkt, noch aus dem indifferenten Furchungsmaterial, die Dermalzellen, und zwar mit ihren verschiedenen Differenzierungen schrittweise, zuerst gewöhnlich Spiculabildner und Deckzellen, der Rest ist dann als Archäocyten zu bezeichnen. Es handelt sich also nur um eine zeitliche Verschiebung derselben Vorgänge: stets wird eine zweischichtige Larve hervorgebracht, im ersten Fall erst am Ende des freien Larvenlebens nach und nach, im anderen Fall durch eine Abkürzung der Vorgänge schon mit dem Ausschwärmen. Auch das gegenseitige Lagerungs- und Größenverhältnis der beiden Schichten ist in den Einzelfällen etwas verschieden: bei den einfacheren Kalk- und primitiveren Kieselschwämmen (Tetractinelliden) handelt es sich meist um eine hohle Larve, ähnlich einer Blastula, bei der aber eine Unterscheidung zwischen beiden Polen, dem vorderen zukünftig gastralen und dem hinteren dermalen von Anfang an deutlich hervortritt. Die dermalen Zellen können vom hinteren Pol aus die ganze hintere Hälfte der Larve einnehmen, so daß alsdann keine Blastula, sondern eine aus zwei verschiedenen Teilen bestehende Larve, die sogenannte Amphiblastula, auftritt. Bei den komplizierteren Kieselschwämmen und Kieselhornschwämmen nimmt die Dermalschicht aber, entsprechend ihrer reichlichen und vorzeitigen Differenzierung, nicht nur den hinteren Pol, sondern auch fast das ganze Innere der Larve ein und die Geißelzellen reichen als ein äußerer Belag darum herum, manchmal sogar den hinteren Pol noch überziehend. In solchen Fällen ist, namentlich wenn noch keine Spicula im Innern zu erkennen sind, eine gewisse Aehnlichkeit mit einer Planulalarve, wie sie bei Coelenteraten auftritt, vorhanden.

Das weitere Schicksal dieser Larve und ihrer Schichten beim Festsetzen ist aber ein ganz anderes wie dort. Die Geißelzellen werden nicht zur äußeren Schicht, sondern geraten von der Ansatzstelle aus ins Innere; sie können

Digitized by Google

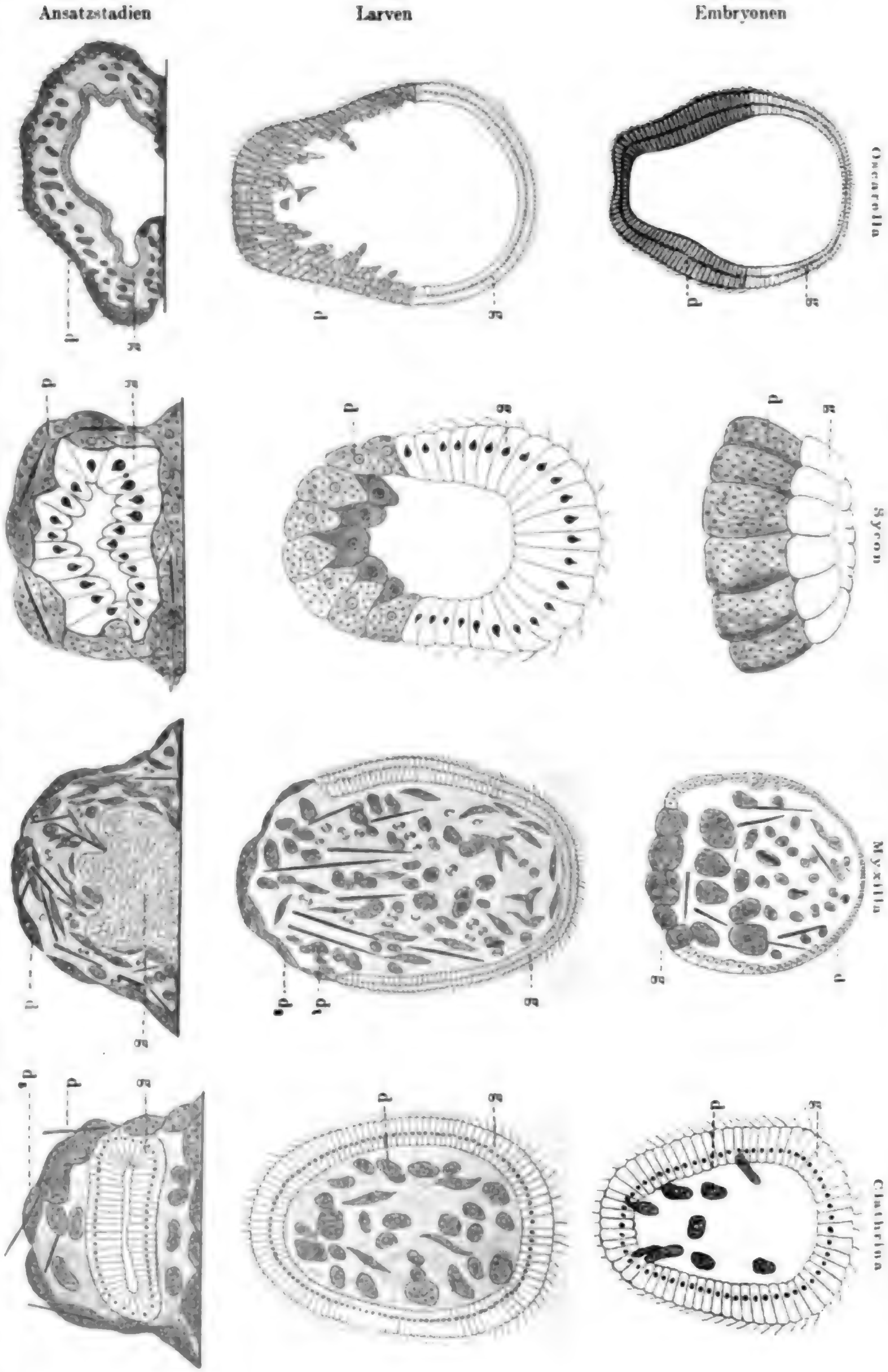


Fig. 12. Typen der Entwickelung der verschiedenen Poriferen; obere Reihe Embryonen, mittlere Reihe freischwimmende Larven, untere Reihe Ansatzstadien, d Dermalzellen, g Gastralzellen.

Digitized by Google

sogar in ihrer Form und Lage noch als Geißelzellen erhalten bleiben, die die Auskleidung eines Hohlraums bilden, namentlich ist dies bei hohlen Larven möglich. Die dermalen Zellen wachsen vom hinteren Pol über die Ansatzstelle herum. Bei massiven Larven findet eine völlige Umkrempelung der Schichten statt; die Geißelzellen geraten ebenfalls ins Innere, verlieren aber dabei mehr oder minder ihre schlanke Form und ihre Geißel und die dermalen Zellen wachsen vom hinteren Pol aus oder auch an anderen Stellen, das Geißellager durchbrechend, darum herum, bis sie es völlig einhüllen. Das Schicksal der Zellen der Larve ist also ein anderes, als man ihrer Lage nach erwarten sollte, und um alle Vergleiche zu vermeiden, sind daher für die Schichten nicht die Namen Ektoderm und Entoderm, sondern die indifferenten Ausdrücke gastral und dermal gewählt worden.

Als Beispiel der Weiterentwickelung diene der Kalkschwamm Sycon, der hierin zwischen den einfachsten Kalkschwämmen und den komplizierten Formen der Kieselschwämme etwa die Mitte hält. Aus der „Amphiblastula" wird durch die geschilderten Vorgänge beim Ansetzen ein doppelwandiger (s. Fig. 12) Sack; die gastralen Zellen in dessen Innerem, die zu einer kompakten Masse sich zusammenschließen konnten, vermehren sich stark und bilden mit Streckung des Sackes die Auskleidung eines Hohlraums; zu gleicher Zeit gewinnen sie ihre histologische Differenzierung, die Geißel, (wieder) und bilden den Kragen aus. In der Dermalschicht zeigt sich zu gleicher Zeit die erste Arbeitsteilung zwischen Deck- und skelettbildenden Zellen, und es treten in sehr großer Menge Spicula, meist Einstrahler, aber auch einige Dreistrahler auf. Mit der Streckung ordnen sich diese Dreistrahler tangential in der Wand des zylindrischen Schwammschlauchs, die Einstrahler bilden einen besonderen Schopf an der Wurzel und am freien Ende. An letzterem bricht, aber erst nachdem sich vorher die zahlreichen kleinen Porenöffnungen gebildet und die Geißeln zu schlagen begonnen haben, durch den erzeugten Wasserstrom das Osculum durch. So ist das Stadium des einfachsten Schwammes, Olynthus oder Ascon, erreicht (Fig. 13), auf dem auch der Sycon längere Zeit, bis zu Monaten, verharren kann. Erst nachträglich bildet der gastrale Hohlraum Ausstülpungen, die Tuben, zwischen die sich dann die dermale Schicht hineindrängt, so daß schließlich der ganze Haupthohlraum des ausführenden Systems von derselben Dermalschicht ausgekleidet wird wie am Oscularrand und außen, und gastrale Zellen nur noch in den Tuben resp. Kammern zu finden sind. Mit der Ausbildung der Tuben und dem Wachstum des Schwammes geht auch eine weitere Differenzierung der Spicula und entsprechende (vgl. Fig. 16) Anordnung derselben zu einem lockeren Gerüst vor sich. So verläuft hier bei den Kalkschwämmen die histologische Ausprägung der Bildung des Kanalsystems und dem Wachstum parallel.

Fig. 13. Junger Sycon im Asconstadium. Nach Maas.

Anders bei den Kieselhornschwämmen, wo die histologische Ausbildung soweit gediehen sein kann, daß schon lange vor dem Bedarf in der freischwimmenden Larve eine große Anzahl von Deck- und kontraktilen Zellen, ferner von Skelettnadeln in enger Verpackung und gebrauchsfertig, vorhanden ist. Das Larvenleben ist demnach hier meist nur sehr kurz; nach der beim Ansetzen erfolgenden Umkrempelung der Schichten entstehen die Räume des Kanalsystems, speziell die Kammern, gleich einzeln in loco, nicht erst durch Ausfaltung eines größeren einheitlichen Hohlraums, und die differenzierten Gebilde der Dermalschicht können ebenfalls sofort ihre betreffenden Leistungen übernehmen (vgl. Fig. 12, Myxilla).

Zurückgeblieben von dieser Differenzierung ist in der Larve nur eine Anzahl von Zellen, die als Archäocyten in das junge Schwämmchen hinübergenommen werden und nun das Material für die Wanderzellen

Digitized by Google

resp. das Ausgangsmaterial für die Fortpflanzungszellen bilden, auch für die der ungeschlechtlichen Vermehrung. Der Schwamm kann zwar seitliche Sprossen und weitere Verästelungen aus differenziertem Material bilden, indem an ihnen ebenso wie beim Weiterwachstum der Kruste alle Zellsorten teilnehmen. Daneben aber kommen noch stets die Archäocyten als Vermehrungsherde in Betracht, die ganz besonders das Material von Kammerzellen weiter ergänzen können. Handelt es sich nun nicht um bloße Sprossen, sondern um Knospenmaterial, das sich nach seiner Hervorwölbung vom Schwamm loslöst, passiv umhergetrieben wird und so wieder den Ausgang eines selbständigen Schwämmchens bildet, so sind es die Archäocyten ausschließlich, die eine solche Knospe herstellen (vgl. Fig. 11): nicht einmal die äußere Haut, die dermalen Spicula, werden dabei in die Knospe mitgenommen, sondern ebenfalls von Archäocyten neugebildet. Das gleiche gilt von der inneren Knospung, wie sie einer Reihe von Süßwasserschwämmen, wohl als Anpassung an die ungünstige Jahreszeit, eigen ist. Auch hier treten eine Anzahl von Archäocyten zusammen, die sich dann mit einer festen Hülle von Horn oder von Kieselkörpern umgeben. Diese „Gemmulae" werden dann durch Zerfall des übrigen Schwammgewebes frei und können jede ein neues Schwämmchen bilden. Die Reihenfolge der Differenzierungsvorgänge bei den Knospen, inneren wie äußeren, ist von der in der Larve etwas verschieden, indem sich aus den Archäocyten zuerst dermale Elemente und Skelettkörper bilden, wie es zum Abschluß dieses Fortpflanzungskörpers nötig ist, dagegen keine Geißelzellen, weil ja hier die selbständige Ortsbewegung fehlt. Diese treten vielmehr als letzte Differenzierung erst, wenn die Hohlräume gebildet sind, als Auskleidung der Kammern auf.

Auch bei allen Regenerationsprozessen und bei Neubildungen, die unter abnormen Bedingungen eintreten, spielen die Archäocyten eine wichtige Rolle, sowohl als phagocytäre Aufnehmer des alten Materials wie als alleiniger Ausgangspunkt für die Wiederentstehung.

Die Regenerationskraft ist, so niedrig die Schwämme organisiert sind, keine absolute. Ein kleines Stückchen, das alle Gewebssorten und Teile des Kanalsystems enthält, kann sich wieder zum funktionierenden Schwämmchen ergänzen, aber ohne besondere Gewebsvermehrung. Es fehlt eben der sonst in einem individuell ausgesprochenen Ganzen gegebene Anreiz zur Neubildung. Bei Rindenschwämmen, wo einzelne Gewebspartien ganz verschieden mit Zellmaterial und Teilen des Kanalsystems ausgestattet sind, vermag nur das Mark, nicht die Rinde allein, ein Schwämmchen wiederherzustellen. Auch wenn alle Gewebssorten vorhanden sind, wird die vorhandene Differenzierung und das Kanalsystem nicht direkt benutzt, sondern es wird zu einem indifferenteren Zustand zurückgekehrt, indem eine Art Gemmula von Archäocyten gebildet wird.

5. System.

I. Klasse Calcarea (Calcispongia).

Hier, wie bei allen Gruppen der Schwämme, besteht ein gewisser Widerstreit, ob man den Weichkörper mit dem Kanalsystem oder das Skelett, besonders die Spiculaform, zum entscheidenden Merkmal des Systems machen soll. Das erste wäre in den meisten Fällen das richtige; aber da die Kenntnis des Skelettes der des schwierig zu konservierenden Weichkörpers stets vorangegangen ist, und da ferner das Skelett bei Expeditionsmaterial oft, bei Fossilien stets, das einzig vorhandene ist, so beruhen alle bisher aufgestellten Systeme auf einem Kompromiß.

A. Ordn. Homocoela (Asconen), Gastrallager zusammenhängend.

Fam. Clathrinidae, netzförmige Kolonien, gleichwinklige Dreistrahler.

Clathrina (Ascetta, Ascandra).

Fam. Leucosoleniidae, röhrenförmig verzweigte Kolonien, Dreistrahler ungleich. Leucosolenia.

B. Ordn. Heterocoela, Gastrallager auf Tuben oder Kammern beschränkt.

Fam. Syconidae, Kanalsystem nach dem zweiten Typus.

U.-Fam. Sycettinae, Tuben frei herausragend. Sycon raphanus.

U.-Fam. Grantinae, Tubenenden im Dermallager zu einer Rinde vereinigt. Ute, Grantia.

Fam. Leuconidae, mit besonderem einführenden Kanalsystem, runden Kammern. Leucandra.

Fam. Pharetronidae, Kanalsystem nach gleichem (3.) Typus. Spicula in verschiedenem Grad zu Gerüsten verbunden.

U.-Fam. Dialytinae, Spicula nur locker verschränkt. Lelapia, Kebira.

U.-Fam. Lithoninae, Spicula durch eine besondere Kalkmasse zu einem soliden Maschenwerk verkittet. Petrostoma, Plectroninia.

U.-Fam Murrayoninae, die eigentlichen Kalkzüge ohne Spicula, daneben einzelne Nadeln. Murrayona (siehe den paläontologischen Teil).

II. Klasse Hexactinellida.

Die frühere Einteilung der Hexactinellida in zwei Ordnungen Lyssacina und Dyctionina war danach gegeben, ob die Nadeln getrennt bleiben oder durch weitere Kieselauflagerung zu ganzen Zügen verbunden sind, was jetzt zum Teil als ein gradweiser Unterschied, der sich noch im Einzelleben ändert und mit dem Alter verstärkt, erkannt worden ist. Auch bei den ersteren kann, wenn auch spät, noch eine Verbindung zustande kommen, aber dies „unechte Netzwerk" ist un-

Digitized by Google

regelmäßig und besteht aus verschiedenartigen Nadeln. Bei den letzteren mit „echtem Netzwerk“ nehmen nur richtige Sechsstrahler am Maschenwerk teil, und deren Vereinigung erfolgt sehr früh am jungen, noch einfach gebauten Schwämmchen. Man hat daher die Bezeichnung als anatomisch bei verschiedenen Gruppen bedeutsam, wenn auch nicht für das System, beibehalten. Wichtiger erscheint der Weichkörper, der bei den typischen Formen eine innerste Kammerlage aus bienenkorbartigen, regelmäßig gelagerten, weit offenen Einzelkammern besitzt, an die sich nach innen und außen je ein Balkensystem und eine Abschlußlage von Dermalzellen anschließen (s. Fig. 9). Auf diese Anordnung lassen sich bei der einen Gruppe der Hexactinelliden alle Formen zurückführen, teilweise durch Faltung der Kammerlage und der zugehörigen Membranen und Balkensysteme. Bei der anderen Gruppe wird dagegen eine ganz unregelmäßige Form der Kammern und der entsprechenden Ausfuhrsysteme wahrgenommen. In Uebereinstimmung damit steht, daß bei beiden Gruppen besondere Arten von Nadeln vorkommen, die sich gegenseitig ausschließen, bei der ersten die Hexaster, bei der zweiten die Amphidiscen (s. Fig. 14a u. b), ferner folgen auch sonst die Megaskleren in beiden Gruppen der regelmäßigen, respektive unregelmäßigeren Anordnung des Weichkörpers.

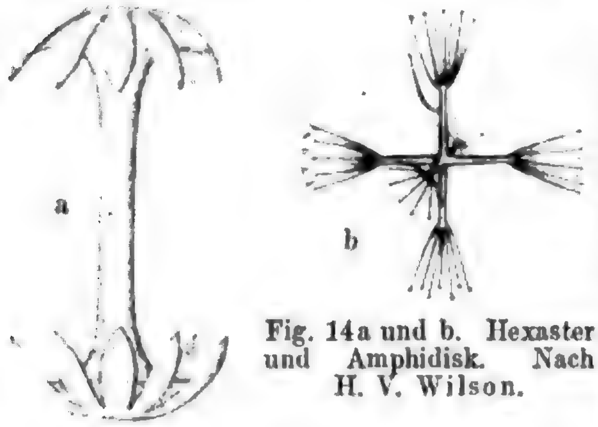


Fig. 14a und b. Hexaster und Amphidisk. Nach H. V. Wilson.

A. Ordn. Hexasterophora, Hexaster vorhanden, Amphidiscen fehlen, Skelettypus sowohl lyssacin wie dyctionin möglich. Kammern typisch.

a) Ohne Uncinaten (Hakennadeln),

1. lyssacine Formen:
Fam. Euplectellidae.
Fam. Leucopsacidae.
Fam. Caulophacidae.
Fam. Rosellidae.

2. dyctionine Formen (frühere Inermia):
Fam. Maeandrospongidae.

b) Mit Uncinaten, stets dyctionine Formen.
Fam. Farreidae und Euretidae.

B. Ordn. Amphidiscophora, Amphidiscen vorhanden, Hexaster fehlen, Skelettypus stets lyssacin, Kammern nicht typisch.

Fam. Hyalonematidae, Hyalonema, Semperella.

III. Klasse Demospongia.

So verschiedenartig die Angehörigen dieser Klasse sind, und so unähnlich in der äußeren Erscheinung, in der Konsistenz und im Weichkörper ein Kieselschwamm mit tetractinen Nadeln einerseits und ein Hornschwamm mit nadelfreiem Gerüst andererseits sich darstellen, so gibt es dennoch alle Uebergänge. Die drei Hauptgruppen, die hier gemacht werden, sind darum nur künstlich, und manche Familien werden deshalb von den verschiedenen Autoren in die eine oder andere davon gestellt. Immerhin sind gewisse Abgrenzungen möglich, die zu folgenden Ordnungen führen:

A. Ordn. Tetraxonida, mit vierstrahligen Nadeln, Weichkörper meist mit radiärer Anordnung, eine Marksubstanz mit Kammern und eine ausschließlich dermale Rinde zeigend.

B. Ordn. Monaxonida, mit einstrahligen Nadeln, Weichkörper von unregelmäßiger Anordnung. Zu den Nadeln kann Sponginsubstanz dazukommen.

C. Ordn. Keratosa (Monoceratina), ohne eigene Nadeln, Skelett nur aus Sponginfasern bestehend, in denen Nadeln als Fremdkörper eingebettet sein können.

Eine besondere Gruppe der skelettlosen oder Fleisch- oder Schleimschwämme zu machen, ist nicht nötig, da sich derartige Formen stets von solchen mit Hartgebilden ableiten lassen, zum Teil sogar noch einzelne Nadeln, namentlich Mikroskleren besitzen und sich nach dem inneren Bau teils Tetraxoniden, teils den anderen Gruppen anschließen.

A. Ordnung Tetraxonida.

1. U.-Ordn. Carnosa, mit sehr reduzierten Spicula,

a) mit vierstrahligen Spicula, die aber an Größe und Verwendung den Microskleren gleichen.

Fam. Corticidae, Corticium.

Fam. Plakinidae, Plakina, Plakortis. (Hierher auch Oscarella ganz ohne Nadeln.)

b) ohne jede Vierstrahler, nur mit polyaxonen Microskleren oder ganz ohne Nadeln.

Fam. Chondrosidae, Chondrilla, Chondrosia.

2. U.-Ordn. Tetractinellida, im engeren Sinne, mit typischen vierstrahligen Nadeln, besonders sogenannten Triänen, d. h. Nadeln, bei denen der eine Strahl zu einem Schaft verlängert ist (s. Fig. 3 u. 5) oder mit Desmas, d. h. Vierstrahlern, die eine nachträgliche Auflagerung von Kieselsubstanz zur Verkittung von Skelettzügen erfahren.

1. Abt. Lithistida, Skelett zu fester Masse durch die erwähnten Haftnadeln, Desmas, vereinigt.

1. Trib. Hoplophora, mit besonderen

Digitized by Google

Rindenspicula und mindestens einer Form Microskleren.

Fam. Tetracladidae.

Fam. Desmanthidae.

Fam. Neopeltidae u. a.

2. Trib. Anoplea, ohne Rindenspicula und Microskleren.

Fam. Azoricidae (Rhizomorina, partim).

2. Abt. Choristida, ohne Bindenadeln, Skelett lose gefügt.

1. Trib. Astrophora, eine Sorte der Microskleren mindestens Aster.

Fam. Geodidae, Geodia.

Fam. Stelletidae, Stelletta, Tribrachion.

Fam. Pachastrellidae.

Fam. Theneidae.

2. Trib. Sigmatophora, wenn Microskleren vorhanden, dann Sigmas.

Fam. Tetillidae.

Hier der Anschluß an die Monaxonida (Tethya) und dazu auch vielleicht Chondrosidae (s. oben).

B. Ordnung Monaxonida.

1. U.-Ordn. Hadromerina, Weichkörper noch mehr oder minder eine Schichtung in Rinde und Mark zeigend. Skelettnadeln zum Teil radiär geordnet. Spongin fast fehlend. Fleischnadeln (Microskleren), wenn vorhanden, meist Aster, nie Schaufeln oder Sigmas.

1. Trib. Aciculina, Skelettnadeln zweispitzig.

Fam. Coppatidae.

Fam. Tethyidae, Tethya.

2. Trib. Clavulina, Skelettnadeln am einen Ende keulenförmig angeschwollen, am anderen Ende spitzig.

Fam. Clionidae, Cliona, Bohrschwamm.

Fam. Polymastidae, noch mit Microskleren, aber ohne Rinde.

Fam. Suberitidae, ohne Microskleren, ohne Rinde. Suberites.

2. U.-Ordn. Halichondrina, Weichkörper ohne Schichtung in Rinde und Mark, Skelett meist netzförmig angeordnet, Spongin als Kittmasse der Nadeln verwandt. Microskleren in Form von Schaufeln, Bogen, Sigmas usw.

Fam. Halichondridae.

Fam. Haploscleridae, Reniera, Chalina, Gellius.

Fam. Poicilosceleridae, Esperella.

Fam. Axinellidae, Axinella, Phakellia.

C. Ordnung Keratosa.

1. U.-Ordn. Dictyoceratina = Monoceratina. Das Sponginskelett bildet ein Netzwerk anastomosierender Fasern.

Fam. Spongidae, Skelettfasern solid, Kammern mit besonderem Abzugsgang.

Euspongia officinalis (Badeschwamm). Cacospongia, Hippospongia.

U.-Fam. Hircinidae, Hircinia mit Fremdfasern.

U.-Fam. Phyllospongidae, Hornskelett in einer Ebene ausgebreitet. Phyllospongia.

Fam. Spongelidae, Hornfasern mit zahlreichen Fremdkörpern. Kammern mit weiter Mündung. Spongelia.

Fam. Aplysinidae, Sponginfasern hohl, Kammern mit Abzugsgang. Aplysina.

2. U.-Ordn. Dendroceratina, Sponginfasern baumförmig verzweigt, von einer basalen Platte ausgehend, nicht anastomosierend.

Fam. Aplysillidae, Kammerräume mit weiter Ausführöffnung, Kammern selbst groß, sackförmig verlängert. Aplysilla, Darwinella.

Aus dieser Gruppe eine besondere Ordnung zu machen und ihr wegen des weitkammerigen Kanalsystems (bei einer Form) und dreiachsiger Horngebilde eine nähere Verwandtschaft zu den Hexactinelliden zuzuschreiben, ist problematisch.

Hierher wahrscheinlich auch der skelettlose Schwamm Halisarca (nicht mit Oscarella zu verwechseln).

6. Physiologie. Die Ernährung ist zunächst dem Wasserstrom zu danken, schon mechanisch durch Herbeistrudelung von Nahrungspartikeln aus der Umgebung. Besondere Organe der Nahrungsergreifung sind bei den geringen animalen Leistungen der Poriferen nicht zu erwarten; die Spicula kommen als Aufspießer, besonders an der Außenwand der Kalkschwammröhren, in Betracht, zwischen denen dann kleine Organismen, Diatomeen, Foraminiferen und auch größere, wie Mollusken und Krebschen hängen bleiben und verwesen, so daß die zerfallenden Teilchen dann mit dem Wasserstrom in das Kanalsystem und in die Kammer gelangen.

Ob die Geißelzellen nur rein mechanisch zur Stromerzeugung dienen, die eigentliche Nahrungsaufnahme aber von der Dermalschicht geschieht, die die Oberfläche und die weiteren Teile des Kanalsystems auskleidet, oder ob die Geißelzellen selbst aktiv Partikel in sich aufnehmen, ist lange strittig gewesen. Man hat sich früher der ersteren Auffassung zugeneigt, schon wegen der bekannten phagocytären Tätigkeit der Wanderzellen, und weil man bei Zufuhr von Karmin, Fetten und anderen Stoffen diese nachher bei Abtötung in den betreffenden Wanderzellen fand, nicht in den Kragenzellen, ebenso bei Zusatz von vital färbenden Substanzen. Es liegt dies aber nur am Zeitpunkt der Nachprüfung. Wenn man sofort nach Zusatz einer Vitalfärbung z. B. Asconröhren unter dem Mikroskop kontrolliert, so sieht man, daß die Kragenzellen zuerst und ausschließlich die Farbstoffe aufgenommen haben und dann erst an die Wanderzellen abgeben. Ebenso kann man in der lebenden Geißelzelle eines Ascon auf diese Weise hereingekommene Kleinalgen finden. In abnormen Zuständeren wden die Geißelzellen selbst

Digitized by Google

dann samt der Nahrung von den amöboiden Wanderzellen aufgenommen, z. B. bei Ueberfütterung; auch bei äußeren Verletzungen gelangt der Farbstoff direkt von außen mit Umgehung der Kammern in die Wanderzellen, und ebenso können größere Fremdkörper auf diese Weise von außen hereingezogen werden, ähnlich wie bei der Ausfüllung der Sponginfasern (s. o.). Aber dennoch bleiben die Geißelzellen die eigentlichen Aufnehmer. Mit der größeren Ausbildung der dermalen Schicht und der Grundsubstanz in der Schwammreihe, die z. B. bei Leuconen gegenüber Asconen und bei Hornschwämmen gegenüber den einfachsten Kieselschwämmen zu erkennen ist, erhöht sich auch deren Bedeutung für die Nahrungsverarbeitung und -verteilung.

Der Verdauungsvorgang selbst ist intrazellulär. Vacuolen, die einen Umschlag der Farbenreaktion zu sauer zeigen, sind besonders in den amöboiden Wanderzellen wahrzunehmen.

Die Ausscheidung erfolgt zum Teil durch solche Wanderzellen, die drüsigen Charakter gewinnen, an der Dermalfläche, zum Teil aber auch durch den Wasserstrom in den Geißelzellen. Die Atmung stellt sich als ebensolche Ausscheidung dar und wird jedenfalls durch den Wasserstrom befördert, wennschon ein schwammiger Organismus auf allen Flächen leicht mit seinen Zellen Kohlensäure gegen Sauerstoff austauschen kann. Die Mechanik des Stromes wird durch die Geißelbewegung unterhalten; dadurch kommt aber noch nicht seine bestimmte einseitige Richtung zustande, die stets von den Poren durch die Kammern zum Osculum führt und (im Gegensatz zu früheren Angaben) nicht umkehrbar ist. Zwischen den Bewegungen der einzelnen Geißelbezirke, auch innerhalb eines größeren Hohlraums, besteht keine Koordination; es ist vielmehr eine Wirbelbewegung; die Geißeln schlagen in allen Richtungen, und die bestimmte Richtung des Stromes kommt eben durch das Abzugsrohr zustande, das gewissermaßen als „Zugkanal" wirkt, nachdem einmal der Strom überhaupt hergestellt ist, sowie durch Druckunterschiede in den verschiedenen Teilen des Kanalsystems untereinander und gegenüber der Außenwelt. Schon bei der Asconröhre ist durch den Umschlagsrand am Osculum ein solcher Zugkanal angedeutet, der anders wirkt wie der einheitliche Geißelbezirk; noch mehr ist dies bei dem dermalen Ausfuhrrohr der Syconen der Fall, und die fortschreitenden Typen des Kanalsystems (s. o.) lassen sich als Verbesserungen dieser Einrichtung auffassen zur Erzielung eines guten Abzugs bei möglichst langem Verweilen in den Kammern selbst (wegen der Ausnutzung der Nahrungspartikel) und mit einem möglichst geringen Aufwand von Energie.

Bewegung am Schwamm ist zunächst nur durch diesen Strom, also infolge der Tätigkeit der Geißeln, sichtbar. Eine eigentliche Kontraktion durch muskelähnliche Elemente ist zwar vorhanden, aber oft nur durch besondere Methoden nachzuweisen. Es handelt sich, wie beim Schluß der Poren, um einen Uebergang der amöboiden zur Muskelbewegung. Am Osculum, wo bei einigen Schwämmen ganze Sphincteren ausgebildet sind, sind die Kontraktionen schon energischer, auf größere Strecken hin wahrnehmbar und bestimmt gerichtet; auch ganze Schwammpartien können sich auf diese Weise, für das bloße Auge sichtbar, zusammenziehen und langsam wieder ausdehnen. Die Kontraktion ist auf die beschriebenen Faserzellen zurückzuführen, die Wiederausdehnung zum Teil durch die Gesamtelastizität, auch der Grundsubstanz, bedingt. In ganz kleinem Maßstab können auch durch solche gleichsinnige Kontraktionen von Faserzellen in größeren Körperabschnitten Ortsbewegungen, ein Gleiten auf der Unterlage, bei einigen Schwämmen zustande kommen. Die Ortsbewegung der Larven erfolgt durch das Spiel der Geißeln, die am Hinterende einen besonders verstärkten Ring und am Vorderende einen Schopf bilden können; nur bei einigen Kieselschwämmen, deren Larven sehr vorzeitig histologisch differenziert sind, können auch wurmartige Bewegungen durch derartige kontraktile Zellen schon bei der Larve erfolgen.

Antworten auf Reize, sowohl auf mechanische wie chemische, auf thermische, elektrische und auf Licht sind bei den verschiedensten Spongien in verschiedener Intensität festgestellt, aber damit nicht, so wenig wie histologisch, das Vorhandensein eines Nervensystems; im Gegenteil wird durch die Art der Reaktion das Nichtvorhandensein eines solchen bewiesen. Es erfolgt niemals ein Zusammenwirken der Bewegungen, weder von Geißelstrom- und Oscularkontraktion, noch von Poren und Osculum, noch eine Uebertragung des Reizes auf eine größere Strecke kontraktiler Elemente. Die Uebertragung ist nur auf ganz kleine Entfernungen (bis zu 1 cm etwa) überhaupt möglich und erfolgt auch da sehr langsam (5 bis 10 Minuten). Die Weiterleitung geht also von Zelle zu Zelle, nicht durch dafür spezialisierte Elemente; auch die Reizempfindlichkeit ist nicht an besondere Zellen gebunden; gegen manche chemische Einwirkungen verhalten sich allerdings die Geißelzellen in ihren Bewegungen anders wie die kontraktilen Zellen, auch diese wieder etwas anders wie die amöboiden Zellen. In letzterem Fall sind es aber nur graduelle Unterschiede; überhaupt sind alle Zellen mehr oder minder gegen Reize noch empfindlich gleich einem Protozoon. Von besonderen Einrichtungen

Digitized by Google

zur Reizaufnahme, speziell des Lichtes, dürfte höchstens bei den im Vergleich zum erwachsenen Schwamm viellebhafteren Larven die Rede sein, bei denen eigene Pigmente an gewissen Stellen nebst einem hyalinen Plasma entwickelt sein können, und bei denen auch sehr ausgesprochene Bewegungen vom Licht ab oder nach dem Licht zu festzustellen sind (s. u.).

7. Biologie. Bei den Beziehungen zu der belebten und unbelebten Umgebung, also auch bei dem Verhältnis eines Schwammes zu anderen Tieren und Artgenossen, spielt die Frage der Individualität herein, über die noch vielfach gestritten wird. Keinesfalls handelt es sich bei Poriferen um bloße Zellkolonien, sondern die höhere Einheit spricht sich sowohl in der Larve als auch in der ersten Ansatzform, dem Olynthus, aus, und das Osculum kann hier als das Anzeichen eine Individuums gelten (nicht die Geißelzelle). Freilich wird durch Sprossung und unvollkommene oder unterbleibende Ablösung dann die Individualität verwischt, und eine Kolonie wie bei Hydroiden hergestellt. Ferner kann auch durch Zusammensetzen mehrerer Larven oder Aneinanderwachsen mehrerer Schwämmchen eine solche Kolonie mit mehreren Auswurfsröhren hergestellt werden unter Verwischung der ursprünglichen Grenzlinien. Auch Individuen verschiedener Schwammspezies können sich an- und aufeinander zu äußerlich einheitlichen

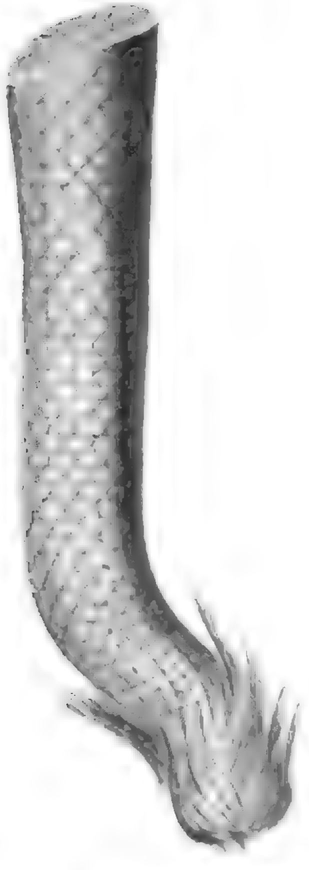


Fig. 15. Schema der Nadelgerüstanordnung einer Hexactinellide (Euplectella).

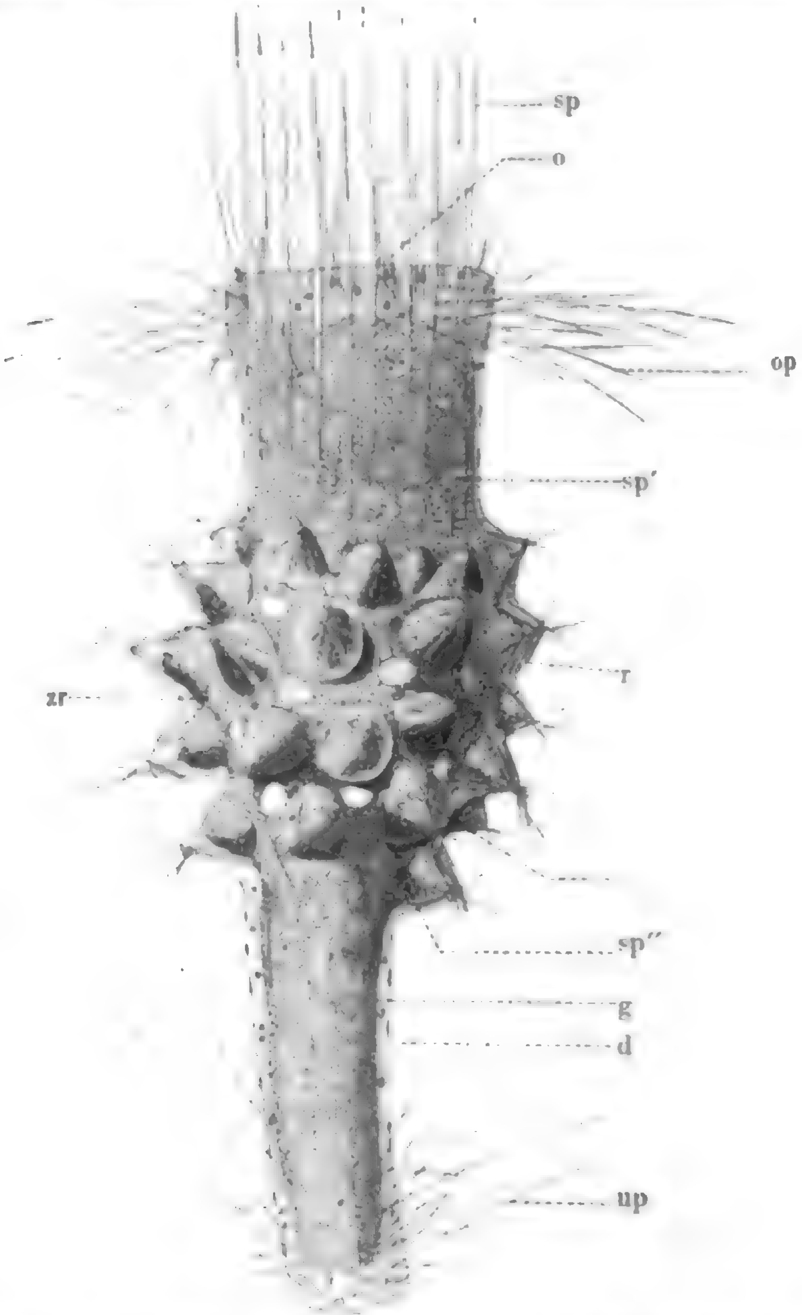


Fig. 16. Allmähliche Gerüstanordnung der Kalknadeln bei einem jungen Sycon. g Gastral-; d Dermalschicht; zr Poren; o Osculum; sp Spicula (regionär verschieden). Nach Maas.

Digitized by Google

Gruppen zusammensetzen; alsdann bleibt aber die natürliche Trennungslinie stets deutlich erhalten, und es findet keinerlei Gewebsverschmelzung statt. Ueberhaupt finden die Spongien nicht nur am Grund, sondern auch auf anderen Tieren, festsitzenden sowohl wie freibeweglichen, Halt und Ansatz, auf Anthozoen, Bryozoen, Muscheln und Schneckenschalen, ganz besonders auch auf Krebsen. Den Maskenkrabben dienen z. B. häufig buntfarbige Spongien zur Verkleidung; auf der Schneckenschale, die den Einsiedlerkrebs birgt, kann, ebenso gut wie eine Actinie, auch ein buntfarbiger, stark riechender Schwamm (Suberites) sitzen; auch im Innern der großen Schwammröhren selbst findet sich ein geschützter Platz für manche Krebse, die oft als Pärchen daselbst ihr ganzes Dasein verbringen. Auch Coelenteraten können mit ihrem Coenosarc tief in das Schwammgewebe eingesenkt sein (Spongicola, das festsitzende Stadium der Meduse Nausithoe u. a.), und solche engen Vergesellschaftungen haben öfters zu falschen Auslegungen, namentlich bei Trockenpräparaten und Versteinerungen, Anlaß gegeben.

Die Poriferen kommen wenig als Nahrung für andere Tiere in Betracht; sie sind geschützt durch Spicula, Sekrete, Geruch, und ihre Krusten werden nur von einigen Mollusken angenagt; dagegen sind sie selbst Konkurrenten für andere Tiere, die sich ebenfalls von zerfallenden organischen Stoffen nähren, wie Muscheln, z. B. die Auster; auch bei künstlichen Kulturen des Badeschwamms und bei der Erweiterung seiner natürlichen Siedelplätze sind diese Lebensgemeinschaften zu berücksichtigen. Auf Grund der Regenerationskraft (s. o.) ist ein höheres Erträgnis nicht zu erzielen.

Die Spongien des Meeres sind meist gegen einen Wechsel des Salzgehaltes sehr empfindlich. Für die Kalkschwämme ist das Karbonat des Meerwassers absolut notwendig; nur aus ihm direkt (nicht aus dem schwefelsauren Kalk durch Umsetzung) können sie ihre Gerüste aufbauen. Die Kieselschwämme sind vom Karbonat unabhängig, da sie nur Silicium zu ihrem Skelett benützen. Da dieses, gleich dem Karbonat nur in Spuren im Meerwasser vorhanden ist, und dennoch beides in solchen Mengen im Tierkörper angehäuft werden kann, so ist dies nur durch die Tätigkeit der lebenden Zelle zu erklären.

Für die Ausprägung des Skeletts und damit auch der äußeren Form ist auch die Wasserbewegung sehr bedeutsam. Zwar läßt sich die einzelne Nadelform schwer auf rein mechanische Prinzipien zurückführen (s. o.), desto besser ist das aber mit dem Gesamtskelett, seinem Material und seiner Anordnung möglich. Gerade bei den Demospongien lassen sich danach ganze Reihen aufstellen, je nachdem mehr nur eine starre Stütze oder auch Biegsamkeit zugleich mit der Festigkeit verlangt wird. Das erstere ist mehr in größeren Tiefen der Fall, und hier überwiegen die Formen mit reinem Kieselskelett, das andere mehr nach der Wasseroberfläche zu, in der Gezeiten- und Brandungszone, und hier kommt das Spongin als Kittmasse von Nadelzügen dazu. Die Nadelgerüste selbst sind, wie auch bei den Formen mit reiner Mineralsubstanz festzustellen ist, ganz nach Ingenieurprinzipien aufgebaut, um bei möglichster Materialersparnis doch eine große Festigkeit zu erzielen. So ist z. B. bei den Röhrenformen das Skelett vielfach nur in dem äußeren Zylindermantel selbst ausgebildet (gleich Röhrenknochen), hier aber auch nicht massig, sondern nur in einem Gitterwerk, das die gleichen Dienste tut. Zu diesem Gitterwerk kommen noch zwei spiralig um den Röhrenmantel gehende, sich gegenseitig senkrecht kreuzende Systeme dazu (s. Fig. 15), deren Anordnung sich ebenfalls aus der Festigkeitslehre ableiten läßt. Bei den Kalkschwämmen kann das allmähliche Zustandekommen dieser „funktionellen Struktur" und der Einzelentwickelung beobachtet werden (s. Fig. 16). Zugleich mit dem Skelett ändert sich bei der Inanspruchnahme auch die äußere Körperform. Nicht nur innerhalb der einzelnen Gruppen der Spongien gibt es sehr verschiedene derartige Reihen; bei keiner anderen Tierklasse ist auch die gleiche Spezies unter Umständen so vielgestaltig; eine flache Krustenform oder eine reiche Verästelung kann z. B. bei der gleichen Art eines Kieselhornschwammes vorkommen. Das extremste Beispiel ist der Bohrschwamm Clione (Vioa), der einerseits als dünne unscheinbare Kruste auf einer Unterlage oder sogar im Inneren von Kalkschalen und Kalkgestein erscheint, andererseits aber auch riesige, über metergroße und -weite Becher bildet und in dieser Form einen ganz anderen Gattungsnamen (Poterion Neptuni) erhalten hat (beim Bohren ist eine besondere Säure nicht nachzuweisen; das Angreifen der Kalkschalen erfolgt durch Zellen, ähnlich wie bei einem Kalkschwamm, der in karbonatfreiem Wasser gehalten wird, das schon gebildete Eigenskelett von den gleichen Zellen, die es sonst bilden, auch wieder aufgelöst wird (Spiculoblasten und Spiculoklasten).

In bezug auf die Temperatur sind viele Schwämme nicht empfindlich; zwar lassen sich manche Gruppen aufzählen, wie Hornschwämme und darunter besonders die Blatthornschwämme, Phyllospongiden, die die wärmeren Meere bevorzugen, aber die

Digitized by Google

meisten Gruppen der Demospongien und der Poriferen überhaupt sind kosmopolitisch, so daß sich kaum besondere Regionen geographischer Verbreitung aufstellen lassen. Besser lassen sich gewisse Zonen der **Tiefenverbreitung** unterscheiden; hierfür kommt aber weniger die Temperatur, als wie die Wasserbewegung in Betracht (s. o.), so daß man statt von einer abyssalen Fauna, besser von einer „Stillwasserfauna" spricht. So kommen Hexactinelliden, die man als Vertreter der größten Meerestiefen kennt, auch schon in einigen hundert Metern Tiefe vor. Die Bewohner der oberflächlichsten Schichten sind die Kalkschwämme und Kieselhornschwämme (Monaxonida); sie sind schon in der Gezeitenzone sehr zahlreich. Die choristiden Tetraxonia und die Hornschwämme finden etwas tiefer, bis etwa 80 m, ihre reichste Ausprägung; die Lithistiden bis etwa 300 m, und erst darunter beginnt die Entfaltung der Hexactinelliden. Hier sind wieder Formen mit netzartig verbundenem Skelett (dictyonine) weniger tief zu finden als wie solche mit lockerem Skelett (lyssacine). Auch die tiefstgehenden Formen zeigen in ihrem Vorkommen eine gewisse Abhängigkeit von der Küstennähe.

Literatur. **G. P. Bidder,** *The skeleton and classification of Calcareous Sponges.* Proc. Roy. Soc., vol. 64, London 1898. — **O. Bütschli,** *Einige Beobachtungen über Kiesel- und Kalknadeln von Spongien.* Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 69, 1901. — **Y. Delage,** *Embryogenie des Eponges.* Arch. Zool. Exp., sér. 2, vol. 10, 1892. — **A. Dendy,** *Studies on the Comparative Anatomy of Sponges,* einzelne Arbeiten in: Quart. Journ. Micr. Sc., vol. 28 bis 35, 1888 bis 1894. — **L. Döderlein,** *Ueber die Lithonina, eine neue Gruppe von Kalkschwämmen.* Zool. Jahrb. Syst. Abt., vol. 10, 1897. — **V. von Ebner,** *Ueber den feineren Bau der Skeletteile der Kalkschwämme.* Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien., Abt. I, vol. 95, 1887. — **R. Evans,** *The structure and metamorphosis of the Larva of Spongilla lacustris.* Quart. Journ. Micr. Soc. (N. S.), vol. 42, 1899. — **E. Haeckel,** *Die Kalkschwämme,* 3 Bde., Berlin 1872. — **E. Hentschel,** *Tetraxonida* in: Ergebn. Hamburger Südwestaustr. Forschungsreise, 2 Bd. (soweit erschienen), 1910 und 1912. — **J. Huxley,** *Some Phenomena of Regeneration in Sycon.* Phil. Trans. Roy. Soc., ser. B., vol. 202, London 1911. — **J. Ijima,** *Studies on the Hexactinellida,* erschienen I bis IV, in Journ. Coll. Science Tokyo, vol. 15 bis 18, 1901 bis 1904. — **A. Kemna,** *Les caractères et l'emplacement des Spongiaires.* Ann. Soc. Zool. Malacol. Belg., Bd. 42, 1907. — **R. Kirkpatrick,** *On a remarkable Pharetronid Sponge from Christmas Island.* Proc. Roy. Soc. B., vol. 83, 1910. — **R. von Lendenfeld,** *A monograph of the horny Sponges.* London 1889. — **Derselbe,** *Experimentelle Untersuchungen über die Physiologie der Spongien.* Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 48, 1889. — **Derselbe,** *Die Spongien der Adria. I. Die Kalkschwämme,* ibid., vol. 53, 1891. — **G. Loisel,** *Contribution à l'histo-physiologie des Éponges.* Journ. Anat. Phys., vol. 34, 1898. — **O. Maas,** *Die Embryonalentwickelung und Metamorphose der Cornacuspongien.* Zool. Jahrb., Anat. Abt., Bd. 7, Jena 1893. — **Derselbe,** *Die Entwickelung der Spongien.* Zool. Centralbl., 5. Jahrg., 1898. — **Derselbe,** *Ueber Reifung und Befruchtung bei Spongien.* Anat. Anz., Bd. 16, 1899. — **Derselbe,** *Die Weiterentwickelung der Syconen nach der Metamorphose.* Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 67, 1900. — **Derselbe,** *Die Knospenentwickelung der Tethya usw.,* ibid., Bd. 70, 1901. — **Derselbe,** *Der Aufbau des Skeletts der Kalkschwämme im normalen und karbonatfreien Seewasser.* Verh. d. deutsch. Zool. Ges., 14, 1904. — **Derselbe,** *Ueber Involutionserscheinungen bei Schwämmen und ihre Bedeutung für die Auffassung des Spongienkörpers.* Festschr. f. R. Hertwig, Jena 1910. — **Derselbe,** *Vitalfärbung bei Kalkschwämmen usw.* Festschr. f. Spengel, Jena 1912. — **E. A. Minchin,** *Materials for a Monograph of the Ascons. I.* Quart. Journ. Micr. Science. N. S., 40. Bd., 1898. II., ibid., vol. 52, 1908. — **Derselbe,** *Sponges* in: Ray Lankesters Zoology, London 1900. — **Derselbe,** *Sponge Spicules, A Summary of Present Knowledge.* Ergeb. Fortschr. Zool. Jena, 2 Bd., 1909. — **E. A. Minchin und M. Robertson,** *The division of the collar cells of Clathrina coriacea.* Quart. Journ. Micr. Science (N. S.), vol. 55, 1910. — **K. Müller,** *Reduktionserscheinungen bei Süßwasserschwämmen.* Arch. Entw.-Mech., 32. Bd., 1911. — **G. H. Parker,** *The Reactions of Sponges, with a Consideration of the Origin of the Nervous System.* Journ. Exp. Zool. Philadelphia, vol. 8, 1910. — **N. Poléjaeff,** *Calcarea* in: Challenger Reports Z., vol. 8, 1883. — **Ridley und A. Dendy,** *Monaxonida* in Challenger Reports Z., vol. 20, 1887. — **K. C. Schneider,** *Lehrbuch der vergleichenden Histologie.* Jena 1902. Abschnitt *Porifera.* — **F. E. Schulze,** *Untersuchungen über den Bau und die Entwickelung der Spongien.* 10 Monographien in Zeitschr. f. wiss. Z., Bd. 25 bis 35, 1875 bis 1881. — **Derselbe,** *Hexactinellida* in: Challenger Reports, vol. 21, 1887. — **Derselbe,** *Die Hexactinelliden* in: Fauna Arctica, 1. Bd., 1900. — **Derselbe,** *Hexactinellida* in: Wiss. Erg. Deutsch. Tiefsee Exped., 4. Bd., 1904. — **W. J. Sollas,** *Tetractinellida* in: Challenger Reports, vol. 25, 1888. — **I. B. J. Sollas,** *Porifera (Sponges)* in: The Cambridge Natural History, London (Mc Millan) 1906. — **E. Topsent,** *Étude monographique des Spongiaires de France. I. Tetractinellida.* Arch. Zool. Exp., 3. sér., vol. 2, 1894. II. *Carnosa,* ibid., vol. 3, 1895. III. *Hadromerina,* ibid., vol. 8, 1900. — **G. C. J. Vosmaer,** *Porifera (Spongien)* in: Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs, Leipzig 1887. — **Derselbe,** *Poterion a boring Sponge.* Verh. Akad. Wetensch. Amsterdam 1908. — **G. C. J. Vosmaer und C. A. Pekelharing,** *Observations on Sponges,* ibid., 1898 und ff. — **W. Weltner,** *Spongillidenstudien I bis V,* in Arch. für Naturg., 1893 bis 1907. — **Derselbe,** *Ist Astrosclera Willeyana Lister eine Spongie?* Ibid., 76. Jahrg., 1910. — **H. V. Wilson,** *On some Phenomena of Coalescence and Regeneration in Sponges.* Journ. Exp. Zool. Baltimore, vol. V, 1907. — **Derselbe,** *A New Method by which Sponges may*

Digitized by Google

be artificially reared. Science, N. S., Bd. XXV, 1907. — Derselbe, A Study of some epitheloid Membranes in Monaxoid Sponges. Journ. Exp. Zool. Philadelphia, vol. 9, 1910.

O. Maas.

Porifera.

Paläontologie.

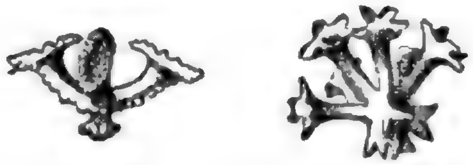
1. Fossilmaterial. 2. Silicea. 3. Calcarea. 4. Phylogenie. 5. Systematik. 6. Wohnbezirke. 7. Zusammenfassung.

1. Fossilmaterial. Alle fossilen Spongien gehören entweder zu den Kiesel- oder zu den Kalkschwämmen. Die als Hornschwämme beschriebenen Gebilde †[1]) Rhizocorallium, †Paramudra u. a.) sind anderen Ursprungs, denn das Spongin ist nicht erhaltungsfähig, und auch Gallertschwämme müssen durch den Fossilisationsprozeß restlos zerstört werden. Die in den Erdschichten an den Skeletten der erhaltungsfähigen Poriferen häufig vorkommenden Pseudomorphosenbildungen, wodurch ursprünglich kieselige Skelette verkalken, ursprünglich kalkige verkieseln können, bedingen, daß die Unterscheidung fossiler Kiesel- und Kalkschwämme nur nach morphologischen Merkmalen, aber nicht nach der chemischen Zusammensetzung der Vorkommnisse erfolgen darf. Durch die Umwandlungen werden auch die für die Klassifikation wichtigen Achsenkanäle zerstört, wodurch unter Umständen, auch bei gut erhaltener äußerer Form der Megasklere (†Hindia) jede genaue Festlegung der systematischen Stellung vereitelt werden kann. Selbst unter den günstigsten Erhaltungsbedingungen sind bei den Silicea fast immer nur die Elemente des eigentlichen Stützskelettes erhalten. Mikrosklere und Fleischnadeln kommen nur an verschwindend wenigen Lokalitäten (Quadraten-Senon von Oberg) vor, und dann fast nie in Gesellschaft der zugehörigen Megasklere.

Von der Erhaltung hängen die Methoden der Skelettuntersuchung ab. Bei den Kieselschwämmen wird in den allerseltensten Fällen durch Anwendung von mit Wasser verdünnter Salzsäure das ganze Gerüst freizulegen sein. Oefters wird man von fast völlig verkalkten Skeletten durch Auflösen größerer Stücke mit nachfolgendem Schlemmen des Aetzrückstandes wenigstens gut erhaltene isolierte Kieselnadeln oder kleinere Skeletteile im Zusammenhang gewinnen, Schliffe dagegen nicht entbehren können, wenn das Skelett total verkalkt ist, oder wenn verkieselte Vorkommnisse, bei denen auch die Maschen des Skeletts mit Kieselsubstanz angefüllt sind, vorliegen. Hier genügt auch wohl die Lupenuntersuchung durchsichtiger Splitter. Bei Umwandlung in Eisenhydroxyd ist von vornherein von einer Untersuchung der inneren Skeletteile Abstand zu nehmen und nur die sorgfältig gereinigte Oberfläche zu prüfen. Die Strukturverhältnisse der fossilen Kalkschwämme sind ohne Dünnschliffe nicht zu erforschen.

2. Silicea. Das Kambrium enthält in den †Protospongidae Hinde, deren Wandung aus quadratische Maschen verschiedener Grade umschließenden Stauraktinen (Pentaktinen) besteht, die ersten bekannten Hexactinelliden in †Archaeoscyphia Hinde vielleicht eine Tetracladine, und in †Nipterella Hinde eine zweite, dem Skelett nach nicht ganz sicher deutbare Lithistide (wie vermutet wird aus der Gruppe der Rhizomorinidae).

Im Silur setzen sich die †Protospongidae fort, jetzt begleitet von den †Dictyospongidae Hall und †Plectospongidae Rauff, zwei Hexactinellidenfamilien, die bei allen Organisationseigentümlichkeiten mit den †Protospongidae wohl eine natürliche Gruppe bilden, welche wahrscheinlich die ältesten Amphidiscophora enthält. Silurische Hexactinelliden



a b

Fig. 1. a Ein isoliertes Skelettelement von Hindia. 80:1. b Ein isoliertes Skelettelement von Astylospongia 120:1. Nach Rauff. Aus Zittel.

von eigentümlicher Skelettorganisation, aber unsicherer Stellung bilden die traubigen Knollen von †Pattersonia Miller (†Strobilospongia Beecher) und die mit lappigen Ausstülpungen versehenen vasenförmigen †Brachiospongien aus dem Untersilur von Nordamerika. Besondere längst erloschene Hexactinellidengruppen repräsentieren auch †Amphispongia Salter und †Astroconia Sollas aus dem oberen Silur von England. Ungemein verbreitet sind im Silur lithistide Silicea, die Rauff und ihm folgend v. Zittel insgesamt als †Eutaxicladina zusammenfassen, die mir aber nach den Formverschiedenheiten der Desme zu zwei scharf voneinander getrennten Formenkreisen zu gehören scheinen. Auf die eine Seite dürften die durch †Astylospongia und verwandte Gattungen (†Astylomanon Rauff u. a.) vertretenen Vorkommnisse zu stellen sein, welche zu einer bis in die Jetztzeit zu verfolgenden, und mit den lebenden Vetulinen

[1]) † vor dem Gattungs- oder Artnamen bedeutet fossile Gruppe, Gattung oder Art.

Digitized by Google

endigenden Entwickelungsreihe gehören; auf die andere die †Hindiaden. Solange die Achsenanlage der aus drei gleichlangen, mit Höckern besetzten und einem knopfartig verkürzten Arme bestehenden †Hindiadenelemente unbekannt ist, muß es unentschieden bleiben, ob man es, wie ich glauben möchte, mit Corallistiden oder mit einer eigentümlich differenzierten Tetracladinengruppe zu tun hat. Als ziemlich sichere Tetracladine des Silurs ist †Aulocopium Oswald zu nennen.

Das Devon enthält in Nordamerika und England noch einige †Dictyospongidae und in der Eifel und in Tennessee die merkwürdige †Astraeospongia, die Hinde für den Typus seiner Ordnung †Octactinellidae ansieht.

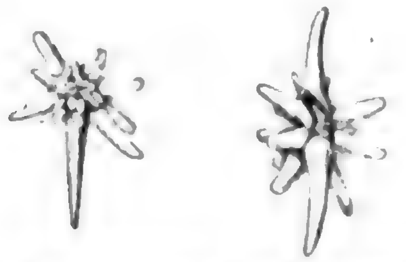


Fig. 2. Skelettelemente von Asteractinella expansa Hinde. 6:4. Kohlenkalk von Dalry. Nach Hinde. Aus Zittel.

Im Carbon folgen außer spärlichen Resten von Rhizomorinen und Megamorinen einige Silicea (†Tholiasterella und †Asteractinella), die von Hinde als †Heteractinelliden von den Hexactinelliden abgetrennt wurden. Dann klafft bis zum oberen Jura, wenn man von vereinzelten Vorkommnissen aus Lias und Dogger (†Melonella, †Cnemidiastrum u. a.) absieht, eine große Lücke.

Die jurassische Kieselspongienfauna ist am besten aus dem durch besonderen Reichtum an Formen und Individuen ausgezeichneten süddeutschen Jura bekannt. Die Hexactinelliden verteilen sich auf die drei Familien †Craticularidae Rauff, †Staurodermidae Zittel und †Ventriculitidae Zittel. Hiervon sind mindestens die †Staurodermidae keine natürliche Gruppe, denn sie

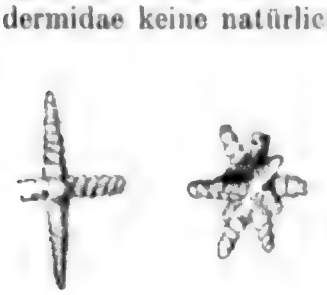


Fig. 3. Skelettelemente von Spiractinella Wrightii Carter. 6:1. Kohlenkalk von Irland. Nach Hinde. Aus Zittel.

enthalten Gattungen mit Lychnisken (†Cypellia Zitt., †Porocypellia Pom., †Cavispongia Quenst.) und mit Hexactinen (†Stauroderma Zitt., †Casearia Zitt., †Porospongia Zitt.). Für die zu den †Ventriculitidae gerechneten Gattungen †Pachyteichisma Zitt., †Trochobolus Zitt. und †Phlyctaenium Zitt. wäre auch wohl besser eine neue Familie zu machen, denn als Vorläufer oder nahe Verwandte der dünnwandigen und hinsichtlich des Kanalsystems ziemlich primitiven echten †Ventriculitidae sind die dickwandigen und kompliziert gefalteten Schwammkörper der jurassischen Formen nicht einzuschätzen. Alle heute bekannten

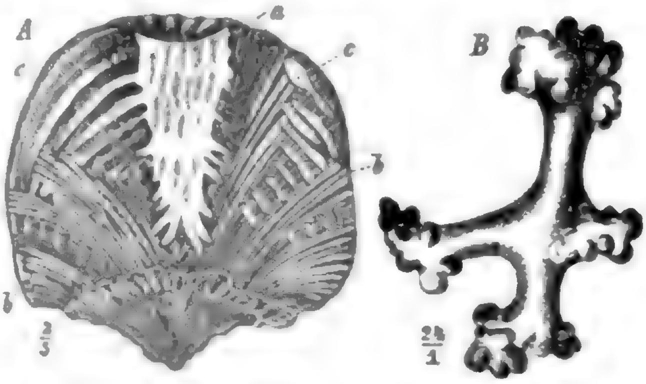


Fig. 4. Aulocopium aurantium Osw. Untersilurisches Diluvialgeschiebe von Sadewitz bei Oels. A Vertikalschnitt des Schwammes, die trichterförmige Zentralhöhle (a), die Aporhysen (c) und die Epirhysen (b) zeigend. B ein Skelettelement. Aus Steinmann.

jurassischen Hexactinelliden gehören zur Unterordnung Hexasterophora F. E. Schulze. Die lithistiden Silicea erscheinen im Jura mit allen Familien, die auch heute noch leben: die Corallistidae mit einer Art der Gattung †Cyphoclonella Kolb. die Tetracladinidae mit vier Arten der genera †Protetraclis Steinmann, †Sontheimia Kolb und †Rhizotetraclis Kolb. die Megamorinidae Zitt. mit den Gattungen †Megalithista Zitt., †Placonella Hinde und †Anomorphites Kolb, die Sphaerocladinidae (früher Anomocladinidae) mit den Gattungen †Cylindrophyma Zitt. und †Melonella Zitt., und die Rhizomorinidae mit zahlreichen Gattungen und Arten. Von den monaxonen Silicea und den Tetraxonia mit regulären Skelettelementen sind vorläufig nur spärliche Reste (†Discispongia unica Kolb, die †Opetionellaarten) bekannt. Im oberen Jura von England und Schwaben kommen Anhäufungen von Rhaxen (Sterrastern) vor, die Veranlassung zur Aufstellung einer Gattung †Rhaxella Hinde der Familie(?) †Rhaxellidae Hinde gegeben haben.

Kretazische Kieselspongien kommen aus der oberen Kreide von England, Frankreich, Böhmen, neuerdings auch aus Südschweden, und mit vorzüglich erhaltenen Skeletten namentlich von Nordwestdeutschland (Umgebungen von Hannover und Braunschweig). Von vielen französischen sind die Strukturver-

Digitized by Google

hältnisse allerdings noch unbekannt, und die Bestimmung der südschwedischen ist auch nur nach der äußeren Körperform durch Vergleichung mit dem Skelett nach bekannten Vorkommnissen der nordwestdeutschen Kreide erfolgt. In England, Frankreich und Böhmen enthalten schon die cenomanen Ablagerungen (Blackdown und Haldon, Normandie, Korytzaner Schichten) reiche Faunen, namentlich von Lithistiden, während die Silicea in der nordwestdeutschen Oberkreide erst im Turon und besonders im Senon zu so erstaunlicher Blüte gelangen. In allen nordeuropäischen Kreidebecken sind von den lithistiden Silicea, die fast überall die Hauptmasse der überhaupt erhaltenen Kieselspongien ausmachen, die Familien Tetracladinidae Zitt., Megamorinidae Zitt., Corallistidae Sollas, †Helomorinidae Schrammen und Rhizomorinidae Zitt. vertreten, in Nordwestdeutschland außerdem noch die †Megarhizidae Schrammen und Sphaerocladinidae Schrammen, die letztgenannten mit Arten, welche an die silurischen †Astylospongien und die jurassischen †Cylindrophymen anknüpfen. Als wichtige Charakterformen der Oberkreide, die im Mechanismus der Skelettverbindung insofern einen besonderen Typus darstellen, als die glatten schlangenförmigen Megasklere weder, wie bei den Tetraxonia mit regulären Spikulen ganz unverbunden, noch, wie bei den lithistiden Tetraxonia durch Zygome verbunden, sondern mehr oder weniger stark verfilzt sind, sind die †Ophiraphididae Schrammen zu nennen. Wohlerhaltene Skelette kennt man nur aus der nordwestdeutschen Oberkreide. Auch die merkwürdige Tetraxoniafamilie der †Helobrachidae Schrammen, deren Gerüst aus großen vogelkrallenartig zusammengekrümmten Dreistrahlern besteht (der vierte Strahl ist auf eine halbkugelige Anschwellung reduziert), ist nur in der Kreide von Hannover gefunden worden. Aus den Tetraxoniagruppen mit regulären Skelettelementen sind Arten in mäßiger Zahl aus England, Böhmen und Nordwestdeutschland beschrieben worden. Manche (z. B. †Stelletta Zitteli Pocta, †Geodia communis Pocta u. a.) basieren nur auf isolierten Nadeln zweifelhafter Herkunft, doch sind aus Nordwestdeutschland auch Funde gut erhaltener Skelette bekannt, die zeigen, daß in der Oberkreide außer den schon von Zittel nachgewiesenen Pachastrellidae Sollas die Tetillidae Sollas, Stellettidae Sollas und Geodiidae Sollas mit Nadelkombinationen vorhanden waren, die auch bei lebenden Arten der genannten Familien auftreten. Von allen rezenten Tetraxoniafamilien sind nur Samiden und Oscarelliden (wohl wegen der Winzigkeit der Nadelformen) noch nicht nachgewiesen worden.

Aus demselben Grunde steuern aus der oberen Kreide auch die monaxonen Silicea nur die zuerst für lebende Formen aufgestellten Familien Homoraphidae Ridley und Dendy und Desmacidonidae Ridley und Dendy mit je einer Art aus Hannover bei. Alle Hexactinelliden der oberen Kreide gehören, soweit einigermaßen vollständige Exemplare oder Wandungsfragmente in Frage kommen, zu der von F. E. Schulze an den lebenden Hexactinelliden unterschiedenen Hauptgruppe der Hexasterophora. Da die Hexaster fast nie erhalten sind, ist der Beweis der Zugehörigkeit allerdings nur indirekt zu führen.

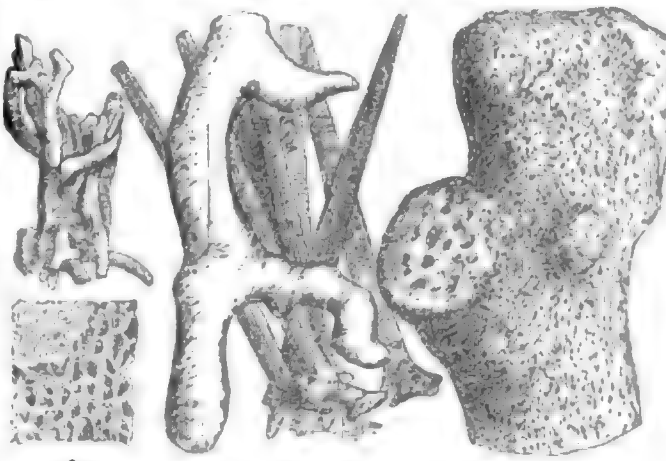


Fig. 5. Doryderma dichotoma Roem. sp. Aus der oberen Kreide. a Exemplar in natürlicher Größe. b Oberfläche doppelt vergrößert. c Skelettelemente. 10:1. d Skelettelemente und Oberflächennadel. 30:1. Aus Zittel.

Alle Kreidehexactinelliden schließen sich nämlich in der Gesamtorganisation mehr oder weniger den fossilen Arten jener genera an, deren lebende Species Hexaster haben. Die Unterordnung Amphidiscophora F. E. Schulze ist nur durch isolierte Amphidiske (durch Ortmann in der Quadratenkreide von Oberg entdeckt) nachzuweisen. Von lyssacinoiden Hexasterophora ist nur die eine Art †Regadrella Petri Jacobi Schrammen aus der Familie Euplectellidae Jjima bekannt. Caulophacidae Ijima, Leucopsacidae Ijima und Rossellidae Schulze bleiben noch nachzuweisen. Dagegen liefern die Hexactinosa zahlreiche Familien, die teils zu den Uncinataria F. E. Schulze, teils zu den Jnermia F. E. Schulze gehören, zu einem großen Teile aber keiner dieser Gruppen mit Sicherheit unterzuordnen sind. Besonderes Interesse, weil sie den Kontakt mit der Jetztzeit herstellen, beanspruchen die fossil nur aus der nordwestdeutschen Kreide bekannt gewordenen, sonst nur lebende Formen umfassenden Euretidae F. E. Schulze (nicht Zittel), Tretocalycidae F. E. Schulze, Chonelasmatidae Schrammen, Dac-

Digitized by Google

tylocalycidae Ijima, Aphrocallistidae F. E. Schulze und Auloplacidae Schrammen. Eigentümliche, heute nicht mehr vorhandene Hexactinosa enthalten die ebenfalls nur aus Nordwestdeutschland bekannten †Pleurothyrisidae Schrammen, †Stichmaptycidae Schrammen, †Polythyrisidae Schrammen, †Callibrochidae Schrammen, †Balantionellidae Schrammen und andere Familien. Aus England, Frankreich, Nordwestdeutschland und Böhmen kennt man Vertreter der †Leptophragmidae Schrammen und aus Nordwestdeutschland, namentlich aber aus Böhmen †Craticularidae Rauff. Neben den Hexactinosa florieren in der oberen Kreide die Lychniscosa. Besonders bezeugen das die aus den Kreidebecken aller nordeuropäischen Länder bekannten Ventriculitidae Zittel, denen sich namentlich in Nordwestdeutschland als nähere Verwandte zahlreiche Vertreter der Familien †Sporadoscinidae Schrammen, †Polyblastididae Schrammen, †Actinocyclidae Schrammen und †Microblastididae Schrammen anschließen. Eine lange bekannte Gruppe bilden die namentlich in der Kreide von Hannover und Westfalen durch etwa acht äußerst zierliche Arten vertretenen †Coeloptychiden, von denen die †Camerospongidae Schrammen mit †Cameroptychium Leonh. und verwandten Formen zu der einzigen aus der Abteilung der Lychniscosa in der Jetztzeit noch lebenden Gattung Aulocystis überleiten. Durch besonderen Formenreichtum und manche stratigraphisch brauchbare Arten sind die †Becksidae Schrammen ausgezeichnet, während die, wie so viele andere nur aus Nordwestdeutschland bekannten †Calyptrellidae Schrammen, †Cinclidellidae, †Bolitesidae Schrammen usw. zum Teil auf isoliert stehende Formen und seltene Vorkommnisse gegründet sind. Insgesamt beträgt die Zahl der aus der oberen Kreide bekannten Kieselspongienfamilien etwa 45, von denen über die Hälfte vorläufig nur in Nordwestdeutschland nachgewiesen wurde.

Verglichen mit der Ueberfülle der Kreidezeit erscheint die aus der Tertiärformation bekannte Siliceafauna äußerst dürftig. Das meiste hat das algerische, einige Arten auch das italienische Miocän geliefert. Die jungtertiären Formen lehnen sich überraschenderweise stärker an die Oberkreide wie an die Jetztzeit an, denn abgesehen von Aphrocallistes und Farrea, die noch leben, aber schon in der Kreide auftauchen, werden von lithistiden Silicea namentlich †Jereica-, †Stichophyma-, †Astrobolia-, †Chonella-, †Verruculina- und †Seliscothonarten, von Hexactinelliden †Craticularien, †Guettardien und †Pleurostomen genannt, genera, die auch der Oberkreide eigen sind. Der generischen Bestimmung der aus dem Tertiär von Italien beschriebenen Arten sind übrigens große Bedenken gegenüberzustellen.

3. Calcarea. Die ältesten sicheren Kalkschwämme (†Peronidella constricta Sandb. sp.) sind devonisch (Stringocephalenkalk von Vilmar in Nassau) und gehören zu den †Pharetronen (†Inozoa Steinm.). Aus dem Kohlenkalk von Asturien kommen danach die von Steinmann als †Sphinctozoa zusammengefaßten, von Rauff zu den Syconen gerechneten und durch eine Segmentierung (wie bei der jurassischen Hexactinellide †Casearia ausgezeichneten Formen †Sollasia, †Amblysiphonella und †Sebargasia Steinm. (über angebliche Vorkommnisse aus dem Kohlenkalk von Tournay ist noch nichts veröffentlicht). Die Dyas enthält nur eine †?Corynella und eine †?Peronella; die anderen aus der Dyas beschriebenen Formen (Geinitz und King) sind größtenteils Problematika. Erst die alpine Trias (St. Cassian, Seeland-Alp) enthält die erste reiche Kalkschwammfauna, und zwar aus der Gruppe der †Pharetronen mit †Peronidella Zitt., †Corynella Zitt., †Stellispongia d'Orb., †Rhaphidonema Hinde u. a. und der †Sphinctozoa Steinm. mit †Colospongia Lambe, †Thaumastocoelia und †Cryptocoelia Steinm. Der außeralpinen Trias fehlen Calcarea fast gänzlich. Die nächsten bekannten Faunen mit zahlreichen †Pharetronen der genera †Peronella, †Corynella, †Pharetrospongia, †Stellispongia u. a. tauchen erst wieder im Dogger von Frankreich (Ranville, Langrune) und Polen (Balin) auf. Im oberen Jura von Streitberg erscheint von †Peronella und anderen †Pharetronen begleitet, als Seltenheit der erste Vertreter der jurassischen Syconen (†Protosycon punctatum Zitt.), dem namentlich im Terrain à Chailles, dem Korallenkalk von Nattheim und bei Chambéry zahlreiche Pha-

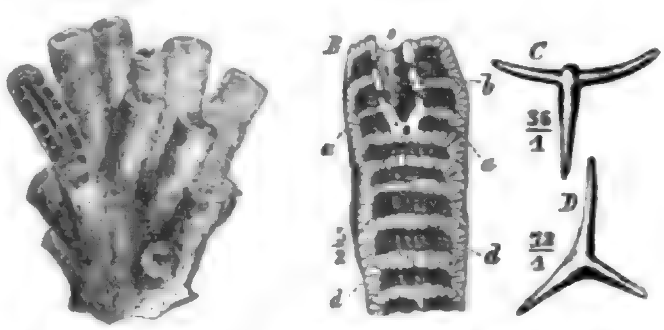


Fig. 6. Barroisia anastomans Mant. sp. Aptien. Farringdon. A Ein buschiger Stock, zum Teil angeschnitten, nat. Größe. B Ein Individuum schräg durchschnitten. 5:1. a Grenzlinie zweier Segmente, b Zentralhöhle, o terminale Oeffnung der Zentralhöhle, d Radialkanäle. C, D, Dreistrahle aus dem Skelett. 72:1. Nach Steinmann. Aus Zittel.

Digitized by Google

retronen folgen. Massenhafte Ansammlungen bilden Pharetronen danach in verschiedenen Abteilungen (Valanginien, Hauterivien und Aptien) der unteren Kreide von Braunschweig (Achim bei Börssum), England (Farringdon), Frankreich (Pariser Becken) und der Schweiz, während die †sphinctozoen Syconen durch die Gattung †Barroisia Steinm. vertreten werden. Als Fundstellen von gut erhaltenen †Pharetronen, aber auch †sphinctozoen Syconen der Cenomankreide sind früher Essen, Le Mans und Cambridge zu einer gewissen Berühmtheit gelangt.

Schließlich scheint der Kreidetuff von Maestricht die letzten Vertreter der Pharetronen zu enthalten, denn aus der Tertiärformation sind Kalkschwämme, abgesehen

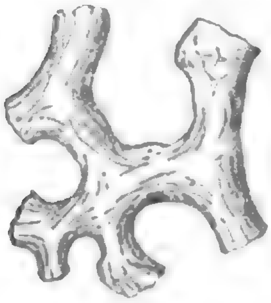


Fig. 7. Faserzüge eines fossilen Kalkschwammes mit teilweise erhaltenen Spiculae. 40:1. Aus Zittel.

von isolierten Nadeln, welche der Grantia compressa zugeschrieben werden, kaum noch bekannt.

4. Phylogenie. Von den beiden von F. E. Schulze bei den lebenden Hexactinelliden unterschiedenen Unterordnungen der Hexasterophora und Amphidiscophora lassen sich die Hexasterophora mit voller Sicherheit bis in den oberen Jura, die Amphidiscophora, wenn ich von Hall und Clarke als „umbel" abgebildete Mikrosklere richtig als Fragmente von Amphidisken deute, sogar bis ins Kambrium zurückverfolgen. Der

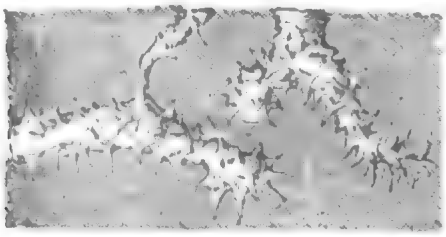


Fig. 8. Fasern eines aus Dreistrahlern bestehenden Kalkschwammes aus dem oberen Jura (Peronella cylindrica Goldf. sp.) In 40facher Vergrößerung. Aus Zittel.

Entwickelungsgang der nachpaläozoischen Amphidiscophora, von denen in der Kreide nur die für diese Abteilung charakteristischen Fleischnadeln, aber noch keine vollständigen Gerüste aufgefunden worden sind, ist allerdings vollkommen unbekannt. Dagegen ist die Evolution der Hexasterophora seit dem jüngeren Mesozoikum einigermaßen zu übersehen. So erreichen die im Jura schon verhältnismäßig reich gegliederten Lychniscosa in der oberen Kreide die höchste Blüte. Jetzt stehen sie mit wenigen Arten einer einzigen Gattung vor dem gänzlichen Erlöschen. Auch die Hexactinosa, mit Ausnahme der als Uncinataria und Iner-

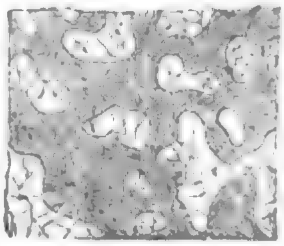


Fig. 9. Fasern eines fossilen Kalkschwammes durch Kristallisation verändert. 40:1. Aus Zittel.

mia zusammengefaßten Gruppen, die in unverminderter Stärke seit der Kreide fortbestehen, bewegen sich mit Ablauf der Kreidezeit in absteigender Linie. Die lyssacinoiden Hexasterophora scheinen zum Teil Produkte der Neuzeit darzustellen. Wenn auch die phyletischen Zusammenhänge mit dem Paläozoikum noch zu suchen sind, ist doch unverkennbar, daß auch die Hexasterophora, und zwar besonders diejenigen mit Dictyonalhexaktinen, die Hexactinosa, eine weit über das Kambrium hinausreichende Entwickelung durchlaufen haben müssen. Bei den Tetraxonia mit regulären Skelettelementen und den monaxonen Silicea scheinen, bei fortschreitender Ausbreitung und Differenzierung, die wesentlichen Merkmale großer Formenkreise — so der Tetillidae, Geodiidae, Stellettidae, Desmacidonidae usw. — seit der oberen Kreide (darüber hinaus fehlen sichere Unterlagen) einigermaßen konstant geblieben zu sein. Von den lithistiden Silicea zeigen die Sphaerocladinidae schon im Untersilur denselben Organisationsgrad der Skelette wie heute. Ihre Sonderung ist darum in das Präkambrium zu legen. Megamorinidae, Rhizomorinidae, Megarhizidae und Corallistidae sind ebenfalls als uralte Familien anzusprechen. Wenn das silurische †Aulocopium, wie wahrscheinlich, eine Tetracladine ist, können auch die Tetracladinidae ihren Ursprung weit herleiten. Mit vollkommener Sicherheit sind sie erst aus dem oberen Jura mit wenigen Formen bekannt, die aber mehrere auch in der Kreide und heute noch vorhandene Formenkreise vertreten. Wenn man die Zygome der sogenannten Lithistiden als später erworben ansieht, als prinzipielle Charaktere dagegen Uebereinstimmung in der Achsenanlage der Megasklere bzw. Desme und Dermalia und der Mikrosklere gelten läßt, wird man nicht umhin können, die regulären

Digitized by Google

Pachastrellidae mit den lithistiden Tetracladinidae, die regulären Stellettidae einerseits, die lithistiden Megamorinidae und Corallistidae andererseits, und die regulären Monaxonia mit den lithistiden Monaxonia (den Rhizomorinidae) in phyletischen Zusammenhang zu bringen.

Entsprechend der viel geringeren Gliederung dieser Klasse sind über die Stammesgeschichte der Kalkschwämme nur wenige Angaben zu machen. Die ersten †Pharetronen treten im Devon, die ältesten †Sphinctozoa im Carbon auf. Beide Abteilungen gehen in reicher Entwickelung durch das mesozoische Zeitalter und erlöschen gegen Ende der Kreidezeit. Die Syconenreihe beginnt im oberen Jura.

5. Systematik. Lange Zeit ist die Zittelsche, auch von Hinde, Rauff u. a. mit nicht sehr wesentlichen Abänderungen angenommene Einteilung das Fundament der paläospongiologischen Systematik gewesen. Zittel unterschied bei den Silicea Monactinelliden, Tetractinelliden, Lithistiden und Hexactinelliden als gleichwertige Hauptgruppen. Jetzt ist die Annahme Schrammens von Lendenfeld und anderen als begründet anerkannt worden, wonach in verschiedenen monaxonen und tetraxonen Entwickelungsreihen als Resultat konvergenter Züchtung eine Festigung des Skeletts durch Unregelmäßigwerden und Zygosenbildung der Nadeln eingetreten sei, die dann den lithistiden Skeletthabitus hervorbrachte. Schrammen stellt darum die Rhizomorinidae und Megarhizidae zu den Monaxonia, die Tetracladinidae, Megamorinidae und Corallistidae zu den Tetraxonia, während er die Sphaerocladinidae überhaupt keiner der geltenden Hauptgruppen der Silicea unterordnen will. Die Hexactinelliden zerlegte Zittel in die beiden Unterordnungen Lyssacina (mit isolierten oder später unregelmäßig verlöteten Nadeln) und Dictyonina (bei denen die Sechsstrahler des Stützskeletts von vornherein zu einem zusammenhängenden Gitterwerke verschmelzen. Nachdem aber F. E. Schulze den Nachweis erbringen konnte, daß alle lebenden Hexactinelliden in zwei natürliche Hauptgruppen zerfallen, nämlich die Hexactinelliden mit Hexastern und die Hexactinelliden mit Amphidisken als Fleischnadeln, konnte Schrammen an der Hand glücklicher Funde aus der Oberkreide die Schulzesche Einteilung mit Erfolg auf sämtliche mesozoischen Hexactinelliden ausdehnen, wobei auch die Abgrenzung systematischer Einheiten niederer Grade, so der Uncinataria und Inermia für fossile Formen mit übernommen wurde.

Die Calcarea gliedert Rauff, je nachdem das Skelett nur aus unverbundenen regulären Nadelformen oder durch Zygose verbundenen irregulären Desmen besteht, in Dialytina mit den Familien Asconidae Haeckel, Homodermidae Lendenfeld, Syconidae Haeckel, Leukonidae Haeckel und †Pharetronidae Zittel, und Lithonina Doederlein (einzige Art, nur lebend, Petrostoma Schulzei Doederlein).

6. Wohnbezirke. Während fossile Kalkschwämme in größeren Mengen nur in litoralen Sedimenten mit zahlreichen Gastropoden, Brachiopoden, Bryozoen, Echinodermen usw. zusammen gefunden werden, sind die fossilen Silicea, namentlich die Hexactinelliden und sogenannten Lithistiden vorwiegend Tiefenbewohner gewesen, aber mit Ausnahmen, wie z. B. ungemein häufig im Untersenon von Ilsede bei Peine in Hannover mit dickschaligen Muscheln und anderen Küstenbewohnern vorkommende Lithistiden verschiedener Familien und genera, und Hexactinelliden der Gattung Guettardia anzeigen. An Vorkommnissen der Quadratenkreide von Oberg hat Schrammen, indem er fossile Farrea-, Eurete-, Periphragella-, Aphrocallistes- und andere Arten mit lebenden Species derselben genera bathymetrisch verglich, die durchschnittliche Tiefe des Meeres, in dem die kieselspongienführenden Kalkmergel und Pläner der nordwestdeutschen Oberkreide sedimentiert worden sind, auf etwa 600 m berechnet. In den Ozeanen der Jetztzeit sind ja aus Hexactinelliden und Lithistiden gemischte Faunen immer an die Tiefsee gebunden. Bei ähnlich zusammengesetzten fossilen Faunen müssen aber bei der Beurteilung, wo nicht schon mit den Spongien vergesellschaftete Vertreter anderer Tierstämme die Faciesverhältnisse klarstellen, auch die auf Anpassungsphänomenen beruhenden morphologischen Besonderheiten der Körperform (Dicke der Wandungen, Verhältnisse der Durchmesser u. a. m. herangezogen werden.

7. Zusammenfassung. K. v. Zittel würde heute nicht mehr schreiben können, daß an geschlossene Formenreihen oder an die Konstruktion eines Stammbaumes nicht zu denken sei, denn die Leitlinien der Entwickelung des Spongienstammes treten immer klarer hervor. Nach langsamem Anstieg im Paläozoikum kennzeichnen reichste Entfaltung der lithistiden Silicea und der Hexactinelliden mit Dictyonalgerüsten den Ausgang des mesozoischen Zeitalters als Blütezeit der Silicea. In der Jetztzeit treten, in der durch starke Verminderung des Gruppeninhalts zum Ausdruck kommenden Abnahme der Produktionskraft und dem Aufkommen dekadenter Typen, Zeichen des Alterns und Verfalls dieser Klasse deutlich hervor. Ein großer Teil der zweiten, erhaltungsfähige Formen enthaltenden Schwammklasse, die

Digitized by Google

Pharetronen (im weitesten Sinne) hat seine ganze Entwickelung schon im Paläozoicum und Mesozoicum durchlaufen und vollendet, während die Syconen und verwandte Gruppen wohl verhältnismäßig junge Reiser am uralten, mit seinen Wurzeln unfaßbar weit in die präkambrischen Perioden der Erdgeschichte reichenden Spongienstammes darstellen.

Literatur. **K. A. v. Zittel**, *Studien über fossile Spongien. I. Hexactinellidae. Abhandl. d. math.-phys. Klasse d. K. Bayer. Akad. d. Wiss., Bd. 13, Abt. 1, S. 1 bis 63, München 1878.* — **Derselbe**, *Studien usw. II. Lithistidae. Ibidem, S. 67 bis 154.* — **Derselbe**, *Studien usw. III. Monactinellidae, Tetractinellidae und Calcispongiae. Ibidem, Abt. 2, S. 1 bis 48, München 1879.* — **F. A. Quenstedt**, *Petrefaktenkunde Deutschlands, Bd. 5, Korallen (Schwämme).* — **J. G. Hinde**, *Catalogue of the Fossil Sponges in the Geological Department of the British Museum (Natural History). London 1883.* — **P. Počta**, *Beiträge zur Kenntnis der Spongien der böhmischen Kreideformation, 1. und 2. Abt. (Hexactinellidae und Lithistidae). Abhandl. d. Königl. Böhm. Ges. d. Wiss., math.-nat. Klasse, Bd. 12, Nr. 4 und 9, Prag 1883 bis 1884.* — **H. Rauff**, *Paläospongiologie. Palaeontographica, Bd. 40, Stuttgart 1893 und 1894 (enthält die ganze Literatur bis 1894).* — **J. Hall und J. M. Clarke**, *The palaeozoic reticulate sponges constituting the family Dictyospongidae, New York 1898.* — **R. Kolb**, *Die Kieselspongien des schwäbischen weißen Jura. Palaeontographica, Bd. LVII, S. 142 bis 254, Stuttgart 1910.* — **O. Zeise**, *Ueber die miocäne Spongienfauna Algeriens. Sitzungsberichte der königl. preuß. Akad. d. Wissensch., Bd. LII, 1906.* — **A. Schrammen**, *Die Kieselspongien der oberen Kreide von Nordwestdeutschland. Palaeontographica, Suppl. V, Stuttgart 1910 bis 1912.*

A. Schrammen.

Porphyr

bedeutet allgemein eine Strukturart der Eruptivgesteine, bei der in einem feinkörnigen Gemenge von Mineralien (Grundmasse) größere Einsprenglinge der gleichen Mineralien liegen, oder wissenschaftlich ausgedrückt, bei denen eine Rekurrenz in der Mineralbildung vorhanden ist, d. h. das gleiche Mineral erscheint in verschiedenen Generationen. Porphyr, wenn der Feldspat ein Orthoklas, Porphyrit, wenn er ein Plagioklas ist. Porphyr im engeren Sinn gewöhnlich für Quarzporphyr gebraucht (vgl. die Artikel „Gesteinsstruktur“ und „Gesteinseinteilung“).

Porzellan.

1. Definition. 2. Herstellung: a) Rohmaterialien. α) Kaolin. β) Ton. γ) Quarz. δ) Feldspat. ε) Sonstige Rohmaterialien. b) Fabrikationsgang. c) Physikalische und chemische Vorgänge beim Brennen. 3. Eigenschaften des Porzellans. a) Spezifisches Gewicht. b) Porosität. c) Gasdichtigkeit. d) Schmelzbarkeit. e) Ausdehnungskoeffizient. f) Kompressibilität. g) Festigkeit. h) Elastizitätsmodul. i) Schallgeschwindigkeit. k) Härte. l) Wärmeleitfähigkeit. m) Spezifische Wärme. n) Elektrische Leitfähigkeit. o) Elektrische Durchschlagsfestigkeit. p) Dielektrizitätskonstante. q) Chemische Widerstandsfähigkeit. 4. Verwendung in Technik und Wissenschaft. 5. Andere keramische Erzeugnisse. a) Steinzeug. b) Steingut. c) Feuerfeste Produkte. α) Schamottewaren. β) Tonerde. γ) Kieselsäure. δ) Magnesia. ε) Seltene Erden.

1. Definition. Das Porzellan ist ein weißes, mehr oder weniger durchscheinendes, unter Verwendung von Tonerdesilikaten bei hoher Temperatur hergestelltes, dichtes Produkt, welches einen muscheligen, glänzenden Bruch zeigt und eine große Härte und mechanische sowie chemische Widerstandsfähigkeit besitzt.

2. Herstellung. 2a) Rohmaterialien. Als Rohmaterialien für die Herstellung der Porzellanmasse kommen hauptsächlich in Frage: α) Kaolin. Der Kaolin ist ein natürliches Zersetzungsprodukt feldspathaltiger Gesteine (Granit, Porphyr u. dgl.). Seine Entstehung ist wohl hauptsächlich auf die Einwirkung schwacher Säuren, insbesondere Kohlensäure, auf diese Gesteine unter Luftabschluß bei Gegenwart von Wasser und reduzierenden Substanzen zurückzuführen. Diese Bedingungen sind am vollständigsten bei der Bedeckung durch Moore und der Einwirkung von Moorwasser erfüllt. Für manche Vorkommen wird auch eine Entstehung durch postvulkanische, pneumatolytische oder pneumatohydatogene Prozesse angenommen.

Der Rohkaolin besteht aus Quarzkörnern, ganz untergeordneten Mengen der im Muttergestein akzessorisch auftretenden Mineralien und einem aus (Kali-)Feldspat hervorgegangenen Aluminiumhydrosilikat, dem Kaolinit, der in seiner reinsten Form der Zusammensetzung $H_4\ Al_2\ Si_2O_9$ (= 39,7% Al_2O_3, 46,4% SiO_2, 13,9% H_2O) entspricht. Sein spezifisches Gewicht beträgt 2,60 bis 2,64. Dieses Aluminiumsilikat, in der keramischen Industrie meist als „Tonsubstanz“ bezeichnet, stellt den technisch wertvollsten Bestandteil des Rohkaolins dar. Der Kaolinit ist häufig kristallinisch (wahrscheinlich monoklin) und fast immer von äußerst geringer Korngröße. Er läßt sich daher ohne große Mühe durch Abschlämmen von den gröberen Mineralbeimengungen trennen und kommt

Digitized by Google

häufig mit nur 1 bis 2% Quarzgehalt in den Handel, wie z. B. der englische China Clay und der in der Porzellanindustrie vielfach verwendete Kaolin von Zettlitz bei Karlsbad.

Durch konzentrierte Alkalihydroxyde und schneller noch durch heiße konzentrierte Schwefelsäure wird der Kaolinit vollständig zersetzt. Auf dieses Verhalten gründet sich die Bestimmung des „Tonsubstanz"-Gehaltes der Kaoline, die sogenannte rationelle Analyse. Nach der Behandlung mit heißer Schwefelsäure und Entfernung der entstandenen Aluminiumsulfatlösung durch Dekantieren wird die in hydratischer Form ausgeschiedene Kieselsäure des Kaolinits durch abwechselndes Behandeln mit 7%iger Natronlauge und konzentrierter Salzsäure gelöst, der hauptsächlich aus Quarz und geringen Mengen feldspatartiger Silikate bestehende Rückstand gewogen und der „Tonsubstanz"-Gehalt aus der Differenz bestimmt. Glimmerhaltige Kaoline geben hierbei zu hohe Werte, da Muskovit ebenfalls durch heiße Schwefelsäure zersetzt wird. Andere Säuren, außer Schwefelsäure und Flußsäure, haben nur geringe Wirkung auf Kaolinit.

Mit Wasser bilden die Kaoline eine formbare (plastische) Masse, die beim Trocknen „schwindet", d. h. unter Annäherung der einzelnen Teilchen ihr Volumen verringert. Diese Trockenschwindung beträgt meist nur wenige Prozente.

Beim Erhitzen gibt der Kaolinit bei etwa 570° C unter Wärmeabsorption den größten Teil seines Konstitutionswassers ab, wobei sein spezifisches Gewicht und die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einwirkungen abnimmt. Wahrscheinlich tritt gleichzeitig mit dem Wasserverlust ein Zerfall in freie Tonerde (Al_2O_3) und freie Kieselsäure (SiO_2) ein. Der letzte Rest des Konstitutionswassers entweicht erst nach sehr langem Erhitzen oder bei noch höher gesteigerter Temperatur. Von etwa 800° C an nimmt das spezifische Gewicht wieder zu, möglicherweise infolge von Polymerisation der Tonerde. Beim Glühen schwinden die Kaoline, und zwar nimmt diese Brennschwindung mit steigender Temperatur bis zu einem Maximalwert zu. Dieser Endwert wird je nach der Reinheit und Korngröße des Materials bei verschieden hoher Temperatur erreicht, meist erst über 1400° C; gleichzeitig verliert der Kaolin seine poröse Struktur, er wird dicht und wasserundurchlässig: es tritt vollkommene „Sinterung" ein. In derartig hochgebrannten Kaolinen finden sich zahlreiche Kriställchen von Sillimanit (Al_2SiO_5), deren Menge von der Erhitzungsdauer, der Temperatur und dem Material abhängt.

Einen bestimmten Schmelzpunkt besitzen Kaoline nicht, sondern es tritt bei ihnen eine allmähliche Erweichung ein, deren Beginn von der Reinheit und dem Feinheitsgrade des Materials abhängt. In der Technik bezeichnet man als Schmelzpunkt diejenige Temperatur, bei welcher ein aus dem Material geformter kleiner Kegel soweit erweicht, daß er umsinkt und mit seiner Spitze die Unterlage berührt („Kegelschmelzpunkt"). Bei reinen, quarzfreien Kaolinen findet dieses Schmelzen gleichzeitig mit dem der Nummern 35 bis 36 der Segerschen Kegelskala, bei etwa 1770 bis 1790° C, statt. Quarz und Metalloxyde (Fe_2O_3, Mn_2O_3, CaO, MgO, K_2O usw.) setzen die Schmelztemperatur herab, besonders wenn sie gleichzeitig zugegen sind.

Hauptbedingung für die Verwendbarkeit eines Kaolins zur Porzellanherstellung ist ein möglichst geringer Gehalt des geschlämmten Produktes an Eisenverbindungen, eine gleichmäßige Verteilung derselben und, hierauf beruhend, eine gleichmäßig weiße, fleckenfreie Brennfarbe bei hohen Temperaturen. Gröbere Beimengungen von eisenhaltigen Mineralien im Rohkaolin sind unschädlich, da sie durch das stets notwendige Schlämmen beseitigt werden.

Zur Porzellanherstellung geeignete Kaoline finden sich u. a. in der Gegend von Halle a./S. bei Morl, Trotha, Sennewitz und bei Döhlau, in Sachsen bei Meißen, Mügeln, Kemmlitz, in Bayern bei Hirschau und Amberg und vor allem in Böhmen in der Gegend von Zettlitz bei Karlsbad; ein auch in Deutschland häufig verwendeter Kaolin ist der englische China Clay, der hauptsächlich in Cornwall aus kaolinisiertem Pegmatit und Granit gewonnen wird.

β) Ton. Unter Ton im engeren Sinne versteht man jedes weniger reine, „tonsubstanz"-haltige Material, welches sich nicht mehr auf primärer Lagerstätte findet und sich vom Kaolin durch seine größere Plastizität und meist durch höheren Gehalt an organischen Beimengungen (Humusstoffen u. dgl.) und an Eisenhydroxyd unterscheidet. Für die Porzellanfabrikation kommen nur solche Tone in Betracht, die feuerfest sind und deren Brennfarbe sich möglichst der der reinen Kaoline nähert. Die „Tonsubstanz"-Teilchen dieser Tone sind meist von noch geringeren Dimensionen als bei Kaolin und lassen nur selten kristallinische Struktur erkennen. Die größere Plastizität ist wohl auf die außerordentliche Feinheit und die Struktur dieser Teilchen, sowie auf den Gehalt an organischen und anorganischen Kolloiden zurückzuführen. Eine wirklich einwandfreie Methode zur Messung der Plastizität existiert nicht, was darauf zurückzuführen ist, daß die in der Technik als Plastizität bezeichnete Eigenschaft sich aus einer Reihe verschiedener physikalischer

Digitized by Google

Eigenschaften zusammensetzt und daher eine eindeutige, exakte Definition kaum möglich ist. Die bisher vorgeschlagenen Methoden berücksichtigen, je nach der Auffassung dieses Begriffes, nur eine oder wenige der Eigenschaften, die einen Ton als „plastisch" erscheinen lassen.

Wässerige Ton- und Kaolinsuspensionen verhalten sich analog den negativen Kolloiden: positive Ionen, besonders zwei und mehrwertige wirken stark koagulierend, während negative, besonders Hydroxylionen, in geringen Konzentrationen die Beständigkeit der Suspension erhöhen. Auf der Wirkung der OH-Ionen beruht auch das technisch äußerst wertvolle Gießverfahren, welches sich darauf gründet, daß kaolin- oder tonhaltige Massen bei Gegenwart von Alkalihydroxyden oder -karbonaten, d. h. also von OH-Ionen, schon durch eine verhältnismäßig geringe Wassermenge so dünnflüssig werden, daß sie sich bequem in Gipsformen gießen lassen. Die Gegenwart positiver, mehrwertiger Metallionen, wie z. B. aus dem häufig in den Rohmaterialien enthaltenen Ca- und Mg-sulfat stammender Ca- oder Mg-Ionen, wirkt dieser Verflüssigung entgegen, da diese koagulierend, d. h. versteifend, wirken.

Kaoline, und besonders plastische Tone, besitzen ein großes Adsorptionsvermögen für die verschiedensten Stoffe organischer (z. B. Farbstoffe) und anorganischer Natur. Besonders Salze mit mehrwertigem Kation werden meist stark adsorbiert, wobei gleichzeitig ein Austausch gegen die im Rohmaterial stets adsorbierten Kationen ($Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $K^{\cdot}$, $Na^{\cdot}$) stattfindet. Diese Adsorptionserscheinungen folgen den für die Adsorption allgemein gültigen Gesetzmäßigkeiten. Organischen Farbstoffen gegenüber verhalten sich Kaoline und Tone amphoterophil, d. h. sie vermögen sowohl basische als auch sauere Farbstoffe zu binden.

Das chemische und pyrochemische Verhalten der reineren Tone ist sehr ähnlich dem der Kaoline, nur ist die Trocken- und Brennschwindung meist größer, und die Sillimanitbildung bei hohen Temperaturen tritt schwerer und in geringerem Grade ein; auch bedingt die Feinheit der Teilchen und der meist etwas größere Gehalt an Alkalien, Erdalkalien und Eisenoxyd ein früheres Sintern. Die plastischen Tone enthalten sehr häufig feinst verteilten, durch Schlämmen nicht entfernbaren Quarzsand und schmelzen infolgedessen auch bei niedrigerer Temperatur als reiner Kaolin.

Für die Porzellanindustrie brauchbare, verhältnismäßig weißbrennende, plastische Tone finden sich z. B. bei Halle a./S., Meißen, Löthain, im Westerwald, in der Pfalz bei Grünstadt, in Hessen und in Böhmen bei Saaz und Karlsbad.

γ) Quarz. Die zur Porzellanbereitung verwendeten Quarze sind von großer Reinheit; sie enthalten meist über 98% Kieselsäure und nur sehr geringe Mengen Eisenoxyd. Statt des kristallinisch-dichten Quarzes wird vielfach auch reiner Quarzsand benutzt, in manchen Gegenden auch Feuerstein (Flint). Neuerdings ist auch der durch seine große Reinheit ausgezeichnete, vollkommen kristallinische, sogenannte Taunusgeyserit mit gutem Erfolge eingeführt worden.

Von keramischer Bedeutung ist das äußerst komplizierte Verhalten des Quarzes, bezw. der Kieselsäure, beim Brennen. Die erste Umwandlung erleidet der Quarz bei 575° C, indem er in den in seinen Eigenschaften nur wenig abweichenden β-Quarz übergeht. Während unterhalb 800° C Quarz die stabilste Form der Kieselsäure ist, bildet sich oberhalb dieser Temperatur Cristobalit. Diese Umwandlung geht jedoch äußerst langsam vor sich; erst bei wesentlich höherer Temperatur und langer Erhitzungsdauer tritt merkbare Cristobalitbildung ein. Da das spezifische Gewicht des Quarzes 2,65, dasjenige des Cristobalits aber nur 2,32 ist, so tritt bei vollkommener Umwandlung eine Volumzunahme von 19,6% ein. Unter Bedingungen, die noch nicht genau erforscht sind, kristallisiert die Kieselsäure oberhalb von 800° C auch als Tridymit.

Der Schmelzpunkt des Quarzes, d. h. die Temperatur des Ueberganges in die amorphe Form mit dem spezifischen Gewicht 2,20, liegt bei etwa 1400° C; je feiner die Korngröße, um so schneller geht diese Umwandlung vor sich. Eine Erweichung bezw. Verflüssigung findet jedoch erst bei bedeutend höherer Temperatur statt, und zwar je nach der Korngröße und der Erhitzungsdauer bei etwa 1650 bis 1750° C. Das bei etwa 1400° entstehende „feste Quarzglas" entglast bei längerem Erhitzen über 1200° ebenso wie der bei höherer Temperatur zu klarem Glase geschmolzene Quarz zu Cristobalit mit dem spezifischen Gewicht 2,32 (vgl. den Artikel „Mineralien, optisch wichtige Mineralien").

Die einzelnen, in der Natur vorkommenden Kieselsäurevarietäten verhalten sich beim Brennen verschieden, indem die Umwandlung in die amorphe Form, bezw. in Cristobalit schneller oder langsamer vor sich geht. Während Bergkristall bei 1400° C einer sehr langen Erhitzung bedarf, um in den amorphen Zustand überzugehen, geht die Umwandlung z. B. bei Flint sehr schnell und vollständig vor sich. Auch die einzelnen Quarzvorkommen verhalten sich nicht gleich, und es spielt hierbei wahrscheinlich die Art ihrer Entstehung und ihrer Verunreinigung eine wichtige Rolle.

Digitized by Google

Für die Porzellanindustrie gut geeignete Quarze finden sich z. B. in Norwegen, doch kommen auch in Deutschland vielfach Quarzlager von genügender Reinheit vor. Sehr häufig werden reine Quarzsande verwendet, wie sie z. B. bei Hohenbocka in der Lausitz, Herzogenrath bei Aachen, Dörentrup in Lippe und an anderen Stellen gefunden werden. Der schon oben erwähnte Geyserit findet sich im Taunus bei Dörrberg.

Die Prüfung der Kieselsäurematerialien auf ihre Verwendbarkeit in der Porzellanindustrie hat in erster Linie auf färbende Bestandteile, insbesondere Eisen, zu achten und geschieht am einfachsten durch Vornahme einer Brennprobe im Porzellanofen bei 1400 bis 1450° C.

δ) Feldspat. Zur Porzellanherstellung wird hauptsächlich Kalifeldspat verwendet, entweder in Form von Orthoklas oder Mikroklin. Hauptbedingung ist auch in diesem Falle die möglichste Abwesenheit eisenhaltiger Mineralien, wie Turmalin, Biotit u. dgl., deren Vorhandensein sich beim Brennen von Feldspatstücken leicht durch das Auftreten brauner oder schwarzer Flecken bemerkbar macht. Die technisch wertvollste Eigenschaft des Kalifeldspates ist seine leichte Schmelzbarkeit; durch längeres Erhitzen auf 1150 bis 1160° C kann er unter einer Volumzunahme von 8 bis 9 % in den amorphen Zustand übergeführt werden. Seine Viskosität ist bei dieser Temperatur noch äußerst groß; eine merkbare Viskositätsänderung, d. h. Erweichung, tritt bei Anwendung feinsten Feldspatpulvers erst gegen 1200° C ein. Bei etwa 1250 bis 1300° C (Segerkegel 9 bis 11) schmilzt der Kalifeldspat zu einem zähflüssigen Glase, welches bei Gegenwart größerer Mengen Albit trübe, sonst jedoch klar und durchsichtig ist. Das spezifische Gewicht dieses Glases beträgt 2,35 bis 2,40.

Fein gemahlener Kalifeldspat, wie er zur Herstellung der Porzellanmasse verwendet wird, erleidet durch Wasser eine geringe Zersetzung und reagiert daher stets alkalisch.

Brauchbare Feldspate finden sich z. B. besonders in Norwegen (Tvedestrand, Arendal, Sätersdalen, Christiania, Bergen, Kalstadt bei Krageroe) und in Schweden an der Ostküste, im Süden und auf der Insel Ytterby. Auch Bayern (Tirschenreuth, Weiden) und Böhmen (Marienbad, Plaue) liefern, wenn auch in geringerer Menge, Feldspate, welche sich vielfach durch einen hohen Natrongehalt und leichtere Schmelzbarkeit auszeichnen.

ε) Sonstige Rohmaterialien. Reiner Quarz und reiner Feldspat können oft vorteilhaft durch solche Gesteine ersetzt werden, die diese Mineralien gemeinsam enthalten. Als Feldspatersatz wird in manchen Gegenden, besonders in England und Frankreich der aus Orthoklas und Quarz bestehende, unverwitterte oder teilweise in Kaolin umgewandelte Pegmatit (Cornish stone) verwendet. Auch der sogenannte Birkenfelder Feldspat, ein zum Teil kaolinisierter Felsitporphyr, bildet einen ähnlichen Feldspatersatz. Andere Produkte, die größtenteils aus Quarz bestehen und diesen oft billig zu ersetzen vermögen, sind die sogenannten Porzellansande, die neben Quarz wechselnde Mengen von Feldspat und Kaolin enthalten. Natürlich muß die Zusammensetzung aller dieser Materialien stets genau bekannt sein und bei der Herstellung der Porzellanmasse berücksichtigt werden.

Weniger für Porzellanmassen, als für -glasuren kommen ferner als Rohmaterialien noch kohlensaurer Kalk in Form von Marmor, Kalkspat oder Kreide, Magnesit und Dolomit in Betracht. Wie bei allen anderen Materialien, ist auch bei diesen eine weiße Brennfarbe, d. h. die Abwesenheit größerer Mengen eisenhaltiger Beimengungen, Haupterfordernis.

2b) Fabrikationsgang. Die üblichen Hartporzellanmassen, welche im Gegensatz zu den sogenannten Weichporzellanen tonsubstanzreich sind und bei Temperaturen über 1350° C (∼ Segerkegel 12) gebrannt werden, stellen ein inniges Gemisch von Kaolin, Quarz und Feldspat dar. Die Zusammensetzung schwankt etwa innerhalb der Grenzen 40 bis 65 % „Tonsubstanz", 10 bis 30 % Quarz und 15 bis 35 % Feldspat. Quarz und Feldspat kommen in fein gemahlenem, Kaolin in geschlämmtem Zustand zur Verwendung. Die Bestandteile werden sorgfältig naß gemischt und der entstehende Masseschlamm in Filterpressen vom Ueberschuß des Wassers befreit, so daß die zurückbleibende Masse bequem formbar ist, ohne jedoch beim Kneten an den Händen zu kleben. Der Wassergehalt derartiger Massen beträgt durchschnittlich gegen 20 % und wächst mit dem Gehalte an plastischem Material (Kaolin oder Ton). Längeres Lagern und starkes Durchkneten der Masse erhöhen die Bildsamkeit, teils infolge besserer Durchdringung mit Wasser, teils infolge der chemischen Einwirkung des Wassers und der Zersetzung der nie ganz fehlenden organischen Substanzen; diese bei der Lagerung sich abspielenden Prozesse bedürfen jedoch noch näherer Aufklärung.

Die Formgebung geschieht meist mit Hilfe von Gipsformen, und zwar bei Gegenständen von rundem Querschnitt auf der Drehscheibe unter Verwendung von Metallschablonen. Die Gipsformen wirken in doppeltem Sinne: sie entziehen infolge ihrer Porosität der feuchten Masse Wasser, und

Digitized by Google

gleichzeitig wirkt der in Spuren sich lösende Gips koagulierend auf die mit ihm in Berührung kommende Masse, wodurch sich auf dieser eine zusammenhängendere Oberflächenschicht bildet, die ein glattes Loslösen des geformten, infolge der Wasserentziehung schwindenden Stückes von der Form ermöglicht.

Bei der besonders für kleine Gegenstände sehr beliebten Formgebung durch Stanzen wird die trockene, gepulverte Masse mit nur wenig Wasser und Oel durchfeuchtet und unter Anwendung eines ziemlich beträchtlichen Druckes in Stahlformen gepreßt. Die Trockenschwindung solcher gepreßten Stücke ist geringer als die der geformten. Röhren der verschiedensten Weite werden mittels besonderer Röhrenpressen hergestellt.

In vielen Fällen wird die Masse auch in Gipsformen gegossen. Zur Erlangung der erforderlichen Gießfähigkeit mit einem Minimum von Wasser wird die Masse mit Wasser unter Zusatz von Soda gemahlen. Wie schon erwähnt, wird die Viskosität der feuchten Masse durch Soda (oder andere alkalisch wirkende Stoffe) stark erniedrigt, so daß die Masse schon bei 25 bis 30% Wassergehalt vollkommen dünnflüssig ist. Die Höhe des Sodazusatzes muß für jede Masse empirisch festgestellt werden, da sie durch die physikalischen Eigenschaften des in der Masse enthaltenen Kaolins oder Tones und insbesondere auch durch die Menge der häufig vorhandenen löslichen Salze ($CaSO_4$, $MgSO_4$) bedingt wird. Meist genügen schon wenige Zehntel Prozent. Ueberschreitet der Sodazusatz ein gewisse Grenze, so tritt wieder eine Versteifung der Masse ein.

Das Gießen findet ebenfalls in Gipsformen statt. Die Trockenschwindung gegossener Stücke ist meist größer als die der geformten oder gepreßten.

Die auf die eine oder die andere Art gestalteten Stücke werden langsam und vorsichtig an der Luft getrocknet und hierauf verglüht, d. h. bei einer Temperatur von etwa 900 bis 950° C gebrannt. Hierbei wird der Kaolin unter Verlust seines Konstitutionswassers zersetzt, die Masse schwindet um einige Prozent und erhält eine gewisse Festigkeit, besitzt jedoch noch eine sehr große Porosität, da bei dieser Temperatur noch keine nennenswerte Einwirkung der einzelnen Bestandteile aufeinander stattfindet. Die verglühten Gegenstände besitzen genügende Festigkeit, um ohne Schädigung dem Auftragen der Glasur standzuhalten.

Das Glasieren hat den Zweck, das an sich matte Porzellan mit einer glatten, stark glänzenden, harten und widerstandsfähigen, gasdichten, glasigen Schicht zu überziehen. Die Zusammensetzung der Glasur muß daher eine derartige sein, daß diese bei der Temperatur des Porzellanbrandes zu einem zähflüssigen Glase schmilzt. Die verlangte Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und chemische Angriffe erhält die Glasur durch ihren hohen Tonerde- und Kieselsäuregehalt, die erforderliche Schmelzbarkeit durch ihren Gehalt an Kali und Kalk oder Magnesia.

Als typisches Beispiel für die Zusammensetzung einer Hartporzellanglasur möge die folgende Glasurformel dienen:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}1\ K_2O \\ 0{,}2\ MgO \\ 0{,}7\ CaO \end{array}\right\} 1Al_2O_3.10SiO_2;$$

die prozentuale Zusammensetzung dieser Glasur ist: 1,2% K_2O, 1,1% MgO, 5,1% CaO, 13,4% Al_2O_3, 79,2% SiO_2.

Als Rohmaterialien für Porzellanglasuren werden dieselben wie für die Masse verwendet, d. h. Kaolin, Quarz, Feldspat, Marmor, Magnesit, Dolomit und sehr häufig auch gemahlene Porzellanscherben. Zum Färben von Glasuren dienen die verschiedensten Metalloxyde, die entweder von der Glasur unter Silikatbildung zu einer farbigen Schmelze klar gelöst werden, wie z. B. CoO, NiO, Mn_2O_3, CuO, oder als feinst verteiltes Oxyd in der Glasur suspendiert bleiben, wie z. B. Cr_2O_3.

Um die verglühten Porzellanstücke mit Glasur zu überziehen, werden sie in eine wässerige Suspension der fein gemahlenen Glasurmischung getaucht, wobei durch den porösen Scherben Wasser aufgesaugt und eine dünne Schicht des Glasurpulvers auf der Oberfläche der Stücke abgelagert wird. Ein Glasieren roher Gegenstände findet selten statt und ist nur bei sehr dickwandigen Stücken von möglichst einfacher Form möglich.

Nachdem die glasierten Stücke wieder getrocknet und an den Stellen, wo sie auf dem Boden aufstehen, von Glasur befreit worden sind, um ein Anschmelzen an die Unterlage zu verhindern, werden sie dem eigentlichen Porzellanbrande, dem „Gut-“, „Glatt-“ oder „Garbrand“, ausgesetzt. Die Temperatur des Garbrandes richtet sich nach der Zusammensetzung von Masse und Glasur und schwankt zwischen 1350° und 1450° C, entsprechend den Schmelzpunkten der Segerkegel 12 bis 16. Die zur Beobachtung des Fortschreitens und zur Bestimmung der Beendigung des Brandes dienenden Segerkegel bestehen aus den üblichen keramischen Materialien, deren Mengenverhältnisse so gewählt sind, daß jede Kegelnummer bei etwa 20° höherer Temperatur umschmilzt wie die vorhergehende. Der Schmelzpunkt dieser Kegel hängt, wie das bei Silikatgemengen nicht anders zu erwarten ist, nicht nur von der Temperatur-

Digitized by Google

höhe, sondern auch von der Dauer der Erhitzung ab, ist jedoch unter stets gleichbleibenden Bedingungen ziemlich konstant.

Das Brennen des Porzellans geschieht meist in mehrstöckigen Oefen, die mit Steinkohle befeuert werden; der unterste Stock dient dem Gutbrand, die oberen dem Verglühbrand. Stellenweise wird Porzellan auch mit gutem Erfolge mit Gas gebrannt, welches in besonderen Generatoren erzeugt wird. Auch kontinuierliche Oefen, Kammer- und Tunnelöfen, sind vereinzelt im Betrieb. Zum Schutze gegen Flugasche und direkte Einwirkung von Stichflammen werden die zu brennenden Gegenstände stets in feuerfesten Schamottekapseln untergebracht.

zε) Physikalische und chemische Vorgänge beim Brennen des Porzellans. Die augenfälligste Veränderung der Porzellanmasse beim Brennen ist die unter beträchtlicher Abnahme des Gesamtvolumens („Schwindung") vor sich gehende, schließlich bis zu vollkommener Sinterung und Verglasung führende Verdichtung des Scherbens. Die Brennschwindung, die in höherem oder geringerem Grade bei allen aus feinkörnigen Substanzen hergestellten Stücken auftritt, ist auf Oberflächenkräfte zurückzuführen, die auf eine Verkleinerung der Gesamtoberfläche hinarbeiten; außerdem kommt bei den aus mehreren Komponenten bestehenden Massen, wie die Porzellanmassen sie darstellen, das Schmelzen einzelner Bestandteile und die lösende Wirkung der entstehenden Schmelze auf die übrigen als sinterungbefördernd in Betracht.

Der in der Masse enthaltene Kaolin erleidet eine tiefgreifende chemische Zersetzung beim Brennen, indem er bei der Temperatur des Porzellanbrandes teilweise in Sillimanit (Al_2SiO_5) umgewandelt wird.

Schon unter 1200° C macht sich die Wirkung des Feldspates, der bei etwa 1150 bis 1160° unter Volumzunahme in den amorphen Zustand überzugehen beginnt, bemerkbar. Oberhalb dieser Temperatur erweicht der Feldspat der Porzellanmasse zu einem sehr zähflüssigen Glase; dieser geschmolzene Feldspat vermag bei längerem Erhitzen auf 1400° C etwa 14% Tonsubstanz und 60 bis 70% feinen Quarzpulvers zu klarem Glase zu lösen. Diese Bildung glasig-amorpher Substanz erniedrigt das spezifische Gewicht der Porzellanmasse, je weiter sie fortgeschritten ist. Gegenüber dieser Abnahme tritt die durch die Entstehung des Sillimanits mit dem hohen spezifischen Gewicht von 3,2 bedingte Zunahme in den Hintergrund, da Sillimanit nur in verhältnismäßig geringer Menge (nach den bisherigen Beobachtungen annähernd 10% der ganzen Masse) entsteht.

Das Maximum der Schwindung, verbunden mit dem Verschwinden des Wasseraufnahmevermögens (Porosität) wird bei Porzellanmassen schon unterhalb der eigentlichen Garbrandtemperatur erreicht, und zwar um so früher, je feiner die Korngröße der Komponenten, je inniger ihre Mischung und je länger die Brenndauer ist. Die Gesamtbrennschwindung beträgt bei den üblichen Porzellanmassen 12 bis 18% und hängt außer von der Zusammensetzung auch von der Art der Formgebung ab; sie ist ferner um so größer, je größer die Mahlfeinheit der Materialien ist.

Während die durch das Schmelzen des Feldspates bedingten Veränderungen innerhalb der Masse schon verhältnismäßig frühzeitig beginnen, findet die Bildung von Sillimanit aus dem Kaolin erst in dem letzten Stadium des Brandes, oberhalb von 1300° C, statt. Bei Segerkegel 10 bis 12 (ca. 1250 bis 1300° C) gebranntes Porzellan enthält noch keinen Sillimanit.

Gargebranntes Porzellan stellt sich unter dem Mikroskop dar als eine glasige (kieselsäurereiche) Grundmasse, in welcher zahlreiche, unregelmäßig angeordnete, nadelförmige Sillimanitkriställchen eingebettet sind. Außer diesen lassen sich noch oberflächlich stark angegriffene Quarzkörnchen und zahlreiche Luftbläschen beobachten. Eine eigentliche Uebergangszone zwischen dem Scherben und der Glasur ist nicht vorhanden; unter dem Mikroskop erscheint die Oberfläche des Scherbens durch die in sie eingreifende Glasurschicht zerklüftet.

Außer den besprochenen Veränderungen beim Brennen ist hier noch einer weiteren zu gedenken, die für die Praxis von größter Bedeutung ist. Alle zur Herstellung der Porzellanmasse und der Glasur verwendeten Rohmaterialien enthalten Eisenverbindungen, wenn auch nur in geringer Menge, die beim Brande in Silikate übergeführt werden. Bei genügendem Luftzutritt, d. h. also in oxydierendem Feuer, nimmt daher das Porzellan, besonders die Glasur, infolge der Bildung von Eisenoxydverbindungen eine gelbliche Färbung an, deren Intensität durch die in Kaolinen und Tonen nie ganz fehlende Titansäure noch verstärkt wird. Die Feuerführung während des Brandes muß daher eine derartige sein, daß diese Eisenverbindungen zuerst in die Oxydulform übergeführt werden, und dann deren Oxydation im weiteren Verlauf des Brandes nach Möglichkeit vermieden wird. Die aus diesem Grunde notwendige Reduktion hat in der Hauptsache zwischen Rotglut und der beginnenden Sinterung von Scherben und Glasur stattzufinden, also etwa von 900 bis 1150° C. Eine allzu heftige Reduktion, die ja bei Kohlefeuerung nur unter starker Rauch- und Rußbildung möglich ist, über diese Periode hinaus würde bei der Verbrennung der hierbei

Digitized by Google

in den porösen Gegenständen abgelagerten Kohleteilchen im weiteren Verlauf des Brandes eine sehr schädliche Gasentwickelung und somit Blasenbildung innerhalb des sinternden Scherbens und der geschmolzenen Glasur hervorrufen. Die stets innerhalb des noch porösen Scherbens abgeschiedenen Kohleteilchen müssen daher vor dem Erweichen der Glasur wieder durch eine kurze Zeit dauernde, schwache Oxydation entfernt werden. Um aber eine Wiederoxydation der Eisenverbindungen zu vermeiden, brennt man während des übrigen Teils des Brandes annähernd neutral oder ganz schwach reduzierend. Nur auf diese Weise läßt sich ein rein weißes Porzellan herstellen, denn die geringen Mengen von Eisenoxydulverbindungen in Scherben und Glasur üben keinen Einfluß auf die Farbe aus.

Eine zu starke oder zu lange anhaltende Reduktion erzeugt einen bläulichen oder grauen Scherben, dessen Farbe jedenfalls nicht nur durch fein verteilte Kohleteilchen, sondern auch durch die gleichzeitige Gegenwart von Eisenoxydul und zu niedrigen Oxydationsstufen reduziertem Titan bedingt ist.

3. Eigenschaften des Porzellans. 3a) Spezifisches Gewicht. Das spezifische Gewicht des Porzellans nimmt, wie schon erwähnt, während des Brandes ab und beträgt bei gargebranntem Hartporzellan, je nach seiner Zusammensetzung, 2,3 bis 2,5.

3b) Porosität. Gargebranntes Porzellan enthält zwar sehr viele mikroskopisch kleine Luftbläschen, ist jedoch nicht im üblichen Sinne porös und nimmt daher kein Wasser auf. Taucht man ein Porzellanbruchstück in eine wässerige oder alkoholische Lösung eines organischen Farbstoffes, so läßt sich der letztere bei gutem Porzellan vollkommen abspülen, ohne im geringsten aufgesogen zu werden.

3c) Gasdichtigkeit. Bei gewöhnlicher Temperatur ist Porzellan vollkommen gasdicht; bei höherer Temperatur ist das unglasierte Porzellan nicht absolut dicht, doch wird durch die Glasurschicht Gasdichtigkeit erreicht. Glasierte Rohre aus Berliner Porzellan halten bei 1300° noch Vakuum aus.

3d) Schmelzbarkeit. Porzellan besitzt als inhomogenes Gemenge natürlich keinen eigentlichen Schmelzpunkt; eine Erweichung macht sich schon bei verhältnismäßig niedriger Temperatur bemerkbar, und zwar erweicht die Glasur wesentlich früher als der Scherben. Gegen 1300° C kann bei dünnwandigen Gegenständen schon eine Deformierung eintreten. Die Glasur zeigt sogar schon gegen 1000° C eine geringe Erweichung.

3e) Ausdehnungskoeffizient. Der Wärmeausdehnungskoeffizient hängt in erster Linie von der Zusammensetzung der Masse ab; im allgemeinen nimmt er mit dem Feldspatgehalt zu; größerer Quarzgehalt verringert ihn. Bei konstanter Zusammensetzung wird der Ausdehnungskoeffizient um so kleiner, je höher die Brenntemperatur ist. Die Ausdehnungskoeffizienten von Scherben und Glasur unterscheiden sich bei Hartporzellan nur wenig, sodaß Haarrisse in der Glasur bei gutem Porzellan nicht auftreten.

Der Ausdehnungskoeffizient verschiedener Hartporzellane liegt etwa zwischen 0,0000025 und 0,0000065, beträgt also nur etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ desjenigen der gewöhnlichen Gläser.

3f) Kompressibilität. Die kubische Kompressibilität ist bei hohem Quarzgehalt geringer, bei hohem Feldspatgehalt etwas größer, und zwar liegen die Werte etwa innerhalb der Grenzen $1{,}4 \times 10^{-6}$ und $1{,}8 \times 10^{-6}$.

3g) Festigkeit. Die Druckfestigkeit ist sehr groß und beträgt bei gutem Hartporzellan 4000 bis 5000 kg/qcm. Die Zugfestigkeit ist nur annähernd feststellbar und beträgt im Mittel 1000 bis 2000 kg/qcm. Die Biegungsfestigkeit (Biegungsmoment durch Widerstandsmoment) ist zu 400 bis 500 kg/qcm ermittelt worden.

3h) Elastizitätsmodul. Der Elastizitätsmodul bezogen auf kg und qcm wurde für Hermsdorfer Porzellan zu 540000 bis 710000 bestimmt.

3i) Schallgeschwindigkeit. Die Schallgeschwindigkeit in Hermsdorfer Porzellan beträgt 4900 bis 5200 m/sec. Je schlechter ein Porzellan, um so geringer ist die Schallgeschwindigkeit.

Da die Höhe des Tones, welchen Porzellan beim Anschlagen gibt, von der Schallgeschwindigkeit abhängt, so kann die Güte auf diese Art annäherungsweise geprüft werden, indem der Ton um so höher und reiner ist, je besser die Qualität des Porzellans ist.

Nach neueren Untersuchungen gibt mit Natronfeldspat hergestelltes Porzellan keinen so hellen Ton, wie Kalifeldspatporzellan, eine Erscheinung, deren Ursache bisher noch nicht aufgeklärt worden ist.

3k) Härte. Die Härte des unglasierten Porzellans, ausgedrückt in der Mohsschen Härteskala, beträgt etwa 7, bei der Oberflächenschicht der Glasur etwas mehr, ungefähr 8.

3l) Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit, bezogen auf Silber = 100, beträgt etwa 0,04 und nimmt mit steigender Temperatur zu.

3m) Spezifische Wärme. Die spezifische Wärme von Hartporzellan beträgt im Mittel etwa 0,17.

3n) Elektrische Leitfähigkeit. Der elektrische Widerstand ist bei gewöhnlicher Temperatur außerordentlich groß, etwa 200

Digitized by Google

$\times 10^{10}$ Megohm/cm. Die Oberflächenisolation hängt in hohem Grade von der Oberflächenbeschaffenheit ab und verringert sich natürlich bei hohem Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Mit steigender Temperatur nimmt die Leitfähigkeit zu, und zwar ist sie bei 80° C schon 300 bis 400 mal so groß wie bei 16° C; bei Rotglut tritt deutliche Elektrolyse ein.

Die spezifische Leitfähigkeit von Berliner Porzellan beträgt bei 400° C $0{,}05 \times 10^{-6}$, bei 1000° C 1×10^{-6}

3o) Elektrische Durchschlagsfestigkeit. Die Durchschlagsfestigkeit wird in hohem Maße nicht nur von der Zusammensetzung der Masse, sondern auch von deren Verarbeitung und der Sorgfalt bei der Formgebung beeinflußt; je homogener und blasenfreier der Scherben, um so widerstandsfähiger ist er. Genaue Angaben lassen sich daher nicht geben. Platten aus Hermsdorfer Porzellan halten bei 5 mm Dicke im Mittel Spannungen bis zu 55000 Volt aus, bei 10 mm Dicke bis zu 90000 Volt.

Ein Gehalt an Bariumoxyd (BaO) scheint die Durchschlagsfestigkeit zu erhöhen.

3p) Dielektrizitätskonstante. Diese wurde für Hermsdorfer Porzellan zu 4,5 bis 5,3 bestimmt, und dieser Wert dürfte wohl auch für andere Hartporzellane gelten.

3q) Chemische Widerstandsfähigkeit. Porzellan, insbesondere die Oberflächenschicht der Glasur, besitzt eine wesentlich größere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe als Glas. Säuren, außer Flußsäure, wirken so gut wie gar nicht ein; alkalische Lösungen greifen bei längerer Einwirkung in sehr geringem Grade an unter Lösung von Kieselsäurespuren. Feldspatreiche Glasuren verhalten sich in dieser Beziehung günstiger als kalkreiche. Schmelzende Alkalihydroxyde oder -karbonate lösen sowohl die Glasur als auch den Scherben allmählich auf.

4. Verwendung des Porzellans in Technik und Wissenschaft. Die Verwendung des Hartporzellans — denn nur dieses kommt hierfür in Frage — zu wissenschaftlichen und technischen Geräten gründet sich im wesentlichen auf folgende Eigenschaften: mechanische Festigkeit, Härte, chemische Widerstandsfähigkeit, Schwerschmelzbarkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel und äußerst geringe elektrische Leitfähigkeit. Alle diese Eigenschaften varriieren, wie schon hervorgehoben, je nach der Zusammensetzung der Masse und der Glasur, nach der Art der Formgebung und nach der Brenntemperatur und Brenndauer.

Die Härte und Festigkeit des Porzellans machen es als Material für Mörser, Reibschalen, Mahlbüchsen, Ausfütterungen von Kugelmühlen, Mahlkugeln u. dgl. geeignet. Zur Verwendung für Kugelmühlen und Mahlbüchsen zum Mahlen keramischer Massen, Glasuren und Farben ist es auch deshalb gut geeignet, weil so die Verunreinigung des Mahlgutes durch irgendwelche schädliche, insbesondere färbende Stoffe ausgeschlossen ist.

Die Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einwirkungen, besonders gegen Säuren, gestattet eine weitgehende Verwendung des Porzellans in der Technik für Schalen zum Abdampfen von Lösungen und Konzentrieren von Säuren, für Kühlschlangen, Pumpen, Hähne u. dgl. Infolge seiner Verarbeitungsfähigkeit im rohen Zustande kann das Porzellan in den verschiedensten Formen hergestellt werden und sich so den jeweiligen Bedürfnissen der Technik in weitestem Maße anpassen.

Im Laboratorium findet das Porzellan eine vielseitige Verwendung zu Kochbechern, Kasserolen, Retorten, Tiegeln, Abdampfschalen, Trichtern, Glühschiffchen, Tiegeldreiecken, Gaseinleitungsröhren, Wasserbädern, Bunsenbrennern u. dgl. Auch hat man versucht, Einschmelzröhren (Bombenrohre) aus Glas durch solche aus weichem Stahl mit einem 2 mm starken Porzellanfutter zu ersetzen.

Sehr wichtig ist auch die Anwendung zu Schutzrohren für Thermoelemente zur Temperaturmessung, wofür sie sich ihrer Gasdichtigkeit wegen sehr gut eignen, doch ist ihre Benutzung für solche Zwecke durch die verhältnismäßig früh eintretende Erweichung begrenzt.

Der relativ kleine Ausdehnungskoeffizient erlaubt eine ziemlich plötzliche Erhitzung, so daß solche Gegenstände, die einen dünnen und möglichst gleichmäßig starken Scherben besitzen, wie Tiegel, Kasserolen und kleinere Schalen ohne Gefahr des Zerspringens der direkten Flamme ausgesetzt werden können. Je tonerdereicher die Masse ist, um so besser widersteht sie im allgemeinen plötzlichem Temperaturwechsel; man hat in diesem Sinne auch mit Erfolg versucht, den Tonerdegehalt durch Einführung von Aluminiumhydrat zu erhöhen. Ein größerer Feldspatgehalt in der Masse macht dieselbe dagegen spröde und empfindlich gegen Temperaturwechsel.

Von hervorragender Bedeutung ist ferner die auf den großen elektrischen Widerstand des Hartporzellans sich gründende Verwendung als Isolationsmaterial. Porzellanisolatoren werden heutzutage in den verschiedensten Größen für sämtliche in der Technik vorkommende Spannungen ausgeführt. Es ist nicht nur die große Durchschlagsfestigkeit, die das Porzellan für diese Zwecke geeignet macht, sondern fast noch mehr seine Oberflächenbeschaffenheit, d. h. die vollkommen glatte, harte, von Wasser nicht benetzbare, gegen Witterungseinflüsse

Digitized by Google

äußerst beständige Glasurschicht, die eine von kaum einem anderen Material erreichte Oberflächenisolation gewährleistet. Von großem Werte ist auch die mechanische Festigkeit der Porzellanisolatoren, die eine ziemlich starke Zug- und Druckbelastung erlaubt. Die Prüfung von Hochspannungsisolatoren erstreckt sich daher im wesentlichen auf Ermittelung der Durchschlagsfestigkeit, des Auftretens von Randentladungen bei Regen und der mechanischen Festigkeit.

Auf die verschiedenen, zum Teil sehr sinnreichen Konstruktionen der Hochspannungsisolatoren und deren Prüfung kann hier nicht näher eingegangen werden.

Außer zu den eigentlichen Isolatoren werden Porzellanteile an einzelnen elektrischen Apparaten und Anlagen mit Vorteil dort verwendet, wo ein billiges Konstruktionsmaterial von großer Isolationsfähigkeit erwünscht ist.

5. Andere keramische Erzeugnisse. Im Anschluß an das Porzellan sollen hier kurz einige andere keramische Produkte, die für Wissenschaft und Technik von Bedeutung sind, besprochen werden.

5a) Steinzeug. Steinzeug besitzt einen dichten, wasserundurchlässigen, sehr harten, nicht durchscheinenden, meist blaugrau, gelblich oder bräunlich gefärbten Scherben, der mit einer Salz- oder Erdglasur überzogen ist. Die Brenntemperatur schwankt etwa zwischen Segerkegel 4 und 10 ($\sim$ 1200 bis 1300° C). Als Rohmaterial werden früh dichtbrennende, plastische, feuerfeste Tone verwendet. Gutes Steinzeug ähnelt in seinen Eigenschaften (bis auf die Farbe) dem Porzellan und kann daher häufig dasselbe ersetzen, besonders wenn es sich um technische Gegenstände größerer Dimensionen handelt, deren Ausführung in dem weniger plastischen Porzellan schwieriger und vor allem wesentlich teurer wäre.

5b) Steingut. Der Steingutscherben ist im Gegensatz zum Steinzeug von weißer Farbe, infolge seines hohen Quarzgehaltes stark porös und für die meisten Zwecke mit einer verhältnismäßig leicht schmelzenden, gewöhnlich bleihaltigen Glasur überzogen. Der poröse Scherben und die leicht angreifbare Glasur erlauben keine technische Verwendung dieser Waren. Unglasiertes Steingut kann infolge seiner Porosität zum Trocknen feuchter Niederschläge u. dgl. dienen.

Aehnlich dem Steingut in Zusammensetzung und Herstellung sind die zu Filtern und Diaphragmen benutzten porösen Massen, deren Porosität meist ebenfalls auf ihrem hohen Quarzgehalt beruht. Von derartigen Massen sei hier nur die Pukallsche erwähnt.

Dem Porzellan nahestehend ist das Porzellansteingut, welches infolge größeren Feldspatgehaltes fast dicht ist, eine schwerschmelzbare Glasur besitzt und zu Badewannen, Waschbecken und ähnlichem verwendet wird.

5c) Feuerfeste Produkte. α) Schamottewaren. Die Schamottewaren werden aus plastischen, feuerfesten Tonen und bei hoher Temperatur vorgebranntem Ton („Schamotte“) hergestellt. Die Schamotte wird in Körnern von verschiedener Größe zugesetzt, wodurch die Massen beim Brennen weniger schwinden und widerstandsfähiger gegen Temperaturwechsel werden. Die Feuerfestigkeit der üblichen Schamottemassen kommt der der Segerkegel 27 bis 35 (ca. 1600 bis 1770° C) gleich. Eine besonders feuerfeste Schamottemasse (= Segerkegel 37) ist die sogenannte F-Schamotte der Berliner Porzellanmanufaktur, die sich besonders zur Anfertigung von Teilen von elektrischen Oefen und zu Tiegeln gut bewährt hat.

Schamottewaren sind stets porös; je geringer die Porosität und je höher die Brenntemperatur bei der Herstellung, desto widerstandsfähiger sind sie gegen die Einwirkung geschmolzener Gläser und Schlacken, aber auch um so empfindlicher gegen plötzliche Erhitzung. Bei hoher Temperatur werden alle Schamottemassen in schwächerem oder stärkerem Maße elektrisch leitend.

Bei der Verwendung von Schamottemassen, sowie anderer Tonerde und Kieselsäure enthaltender Massen bei höheren Temperaturen ist eine direkte Berührung mit Kalk, Magnesia und anderen Metalloxyden zu vermeiden, da die meisten derselben verhältnismäßig niedrig schmelzende Alumosilikate bilden.

β) Tonerde und tonerdereiche Massen. Reine Tonerde (Al_2O_3) wird wegen ihrer schlechten Verarbeitungsfähigkeit nur in beschränktem Maße zu kleineren Laboratoriumsgeräten für hohe Temperaturen verwendet. Der Schmelzpunkt der stark porösen Tonerdegegenstände liegt bei etwa 2000° C (= Segerkegel 42).

Häufiger ist die Verwendung unreinerer Tonerde und tonerdereicher Massen; besonders dienen die nach verschiedenen Verfahren hergestellten und mit den verschiedensten Namen (Diamantin, Dynamidon, Alundum, künstlicher Korund) belegten, unreineren, meist eisenhaltigen Tonerdevarietäten in Verbindung mit Ton oder Kaolin zur Herstellung hochfeuerfester Tiegel, Rohre, Ofenausfütterungen u. dgl. In feuerfeste Steine wird auch öfters zur Erhöhung des Tonerdegehaltes und somit der Schwerschmelzbarkeit Beauxit in gebranntem Zustande eingeführt (Beauxitziegel).

Als tonerdereiche, sehr schwerschmelzbare (= Segerkegel 38) Masse, die in größerem Umfange zu Pyrometerschutzrohren, Heiz-

Digitized by Google

rohren für elektrische Oefen, Tiegeln u. dgl. verwendet wird, sei hier die Marquardtsche Masse der Berliner Porzellanmanufaktur erwähnt. Da diese Masse infolge ihres hohen Tonerdegehaltes nicht gesintert, sondern porös und gasdurchlässig ist, wird sie für viele Zwecke mit einer Glasur überzogen. Die Masse besitzt ein äußerst feinkörniges Gefüge und ist daher sehr empfindlich gegen schnellen Temperaturwechsel.

Eine tonerdehaltige Masse, die kieselsäurefrei ist und bei genügend hoher Brenntemperatur dicht wird, ist die sogenannte Spinellmasse (Magnesiatonerdemasse) der Berliner Porzellan-Manufaktur. Die relativ frühzeitige Verdichtung der Masse wird durch einen geeigneten Magnesiazusatz herbeigeführt, der zur Bildung von Magnesiumaluminaten Anlaß gibt. Der Schmelzpunkt dieser Masse liegt bei etwa Segerkegel 37.

γ) Kieselsäure und kieselsäurereiche Massen. Reine Kieselsäure wird nur in Form von Quarzglas zu chemisch-technischen Geräten verwendet. Gegenstände aus geschmolzenem Bergkristall sind vollkommen durchsichtig, werden jedoch nur in kleineren Dimensionen ausgeführt und sind relativ teuer. Nicht glasklar, sondern durchscheinend und mit vielen Luftbläschen durchsetzt sind die neuerdings auch in ganz beträchtlichen Größen aus sehr reinem Quarzsand hergestellten, wesentlich billigeren „Quarzgut"gegenstände. Alle Apparate aus geschmolzener Kieselsäure zeichnen sich infolge ihres extrem kleinen Ausdehnungskoeffizienten (0,00000059) durch ihre äußerst große Widerstandsfähigkeit gegen den plötzlichsten Temperaturwechsel und durch ihre Beständigkeit gegen Säuren (außer Flußsäure) aus. Auch für höhere Temperaturen sind Quarzglasgegenstände brauchbar, doch ist ihre Anwendungsmöglichkeit durch die über 1100° C allmählich eintretende Kristallisation (zu Cristobalit) eine beschränkte.

Neuerdings wird unter dem Namen „Siloxyd" Quarzglas mit einem geringen Gehalte an Zirkonoxyd oder Titanoxyd in den Handel gebracht; dieses soll weniger leicht zur Entglasung neigen.

Kieselsäurereiche, feuerfeste Steine werden unter dem Namen Dinas- und Quarzziegel hergestellt und besonders zur Ausfütterung metallurgischer Oefen verwendet. Die Dinassteine enthalten 92 bis 98% SiO_2 und 2 bis 8% Kalk, Tonerde und Eisenoxyd, durch welche eine Verkittung der Quarzkörner herbeigeführt wird. In den gebrannten Dinassteinen ist ein großer Teil der Kieselsäure in Form von Tridymit vorhanden, dessen Menge durch langes Erhitzen bei hoher Temperatur noch zunimmt, woduch die Steine beim Gebrauch eine Volumzunahme erleiden („Wachsen"). Die Feuerfestigkeit der Dinassteine liegt im allgemeinen zwischen Segerkegel 32 und 36.

Eine Zwischenstufe zwischen den Dinassteinen und den Schamottesteinen bilden die tonigen Quarzziegel, bei denen die Schamotte ganz oder teilweise durch Quarzkörner ersetzt ist. Auch bei diesen bewirkt häufiges oder längeres Brennen infolge der Umwandlung des Quarzes eine geringe Ausdehnung.

δ) Magnesia. Reine Magnesia wird häufig zu kleineren Gegenständen verarbeitet, von denen hohe Feuerfestigkeit bei gleichzeitiger Kieselsäurefreiheit verlangt wird. Magnesia läßt sich nicht ohne Verlust schmelzen, da sie weit unterhalb ihrer Schmelztemperatur, bei etwa 1800° C, zu verdampfen beginnt. Magnesiageräte sind stark porös und vertragen keinen plötzlichen Temperaturwechsel. Die bei der Herstellung bei 1400 bis 1500° C gebrannten Gegenstände schwinden bei noch höherer Temperatur nach und erfahren eine Zunahme des spezifischen Gewichtes; sie neigen infolgedessen zum Reißen. Besser verhält sich in dieser Beziehung vorher geschmolzene Magnesia, die nach dem Zerkleinern mit Hilfe organischer Bindemittel verformt und bei 1400 bis 1500° C gebrannt wird.

In der Technik werden zu basischen, hochfeuerfesten Ofenausfütterungen manchmal Magnesitsteine verwendet, die meist aus schwach vorgebranntem, eisenhaltigem Magnesit geformt und bei möglichst hoher Temperatur gebrannt werden. Diese Steine enthalten 5 bis 15% Beimengungen, meist Eisenoxyd, Tonerde und Kieselsäure, durch deren Einwirkung eine genügende Festigkeit nach dem Brennen herbeigeführt wird. Die Feuerfestigkeit der Magnesitsteine übertrifft meist Segerkegel 35.

ε) Seltene Erden. Seltene Erden werden des teuren Preises wegen nur selten und meist nur für wissenschaftliche Untersuchungen als feuerfestes Material verwendet. Die eingehendsten Versuche wurden bisher mit Zirkonoxyd gemacht, welches über 2500° C schmilzt. Man hat auch versucht, statt des reinen Zirkonoxyds ein unreines, 80 bis 95% ZrO_2 enthaltendes, wesentlich billigeres, natürliches Produkt zu verwenden. Aus letzterem hergestellte Gegenstände, wie Tiegel, Rohre u. dgl., sind porös, infolge ihres Eisengehaltes bräunlich gefärbt und schmelzen je nach ihrer Reinheit bei 1750 bis 1900° C; schon unterhalb dieser Temperatur werden sie sehr merkbar elektrisch leitend.

Daß auch andere seltene Erden, wie z. B. Thoroxyd, ein ausgezeichnetes Material zum Gebrauch bei extrem hohen Temperaturen darstellen, ist nach ihren Eigenschaften ohne weiteres anzunehmen, und es ist wohl nur ihrem Preise und ihrer schwierigen Verarbei-

Digitized by Google

tung zuzuschreiben, daß eine Verwendung zu diesem Zwecke nur selten versucht wurde.

Literatur. ***B. Kerl***, *Handbuch der gesamten Tonwarenindustrie. 3. Auflage. 1907.* — ***H. Hegemann***, *Herstellung des Porzellans. 1904.* — ***M. Friese***, *Das Porzellan als Isolier- und Konstruktionsmaterial in der Elektrotechnik. 1904.* — ***R. Rieke***, *Das Porzellan. 1910.* — ***R. Dietz***, *Das Porzellan. 1907.* — ***H. Grimm***, *Die Fabrikation des Feldspatporzellans. 1901.* — ***G. Keppeler und M. Simonis***, *Keramisches Jahrbuch 1909 und 1910.* — ***E. Plenske***, *Ueber Mikrostruktur und Bildung der Porzellane. 1907.* — ***A. Zöllner***, *Zur Frage der chemischen und physikalischen Natur des Porzellans. 1908.* — *Zahlreiche Abhandlungen über Porzellan finden sich ferner in: Sprechsaal, Zeitschrift für die keramischen, Glas- und verwandten Industrien. Coburg.* — *Keramische Rundschau. Berlin.* — *Transactions of the American Ceramic Society.* — *Transactions of the English Ceramic Society.* — *Berichte über die neuere Literatur finden sich im Keramischen Zentralblatt. Halle a. S.*

R. Rieke.

Potential.

1. Skalar und Vektor. 2. Kraft und Potential. 3. Graphische Darstellung. Kraft- und Potentialfeld. 4. Kraftlinien. Stromlinien. Bahnlinien. 5. Gravitationsfeld. 6. Elektrisches und magnetisches Feld. 7. Andere Felder. 8. Geschwindigkeitspotential. 9. Eigenschaften des Potentials. 10. Beispiele von Potentialen. 11. Arbeit und Energie.

1. Skalar und Vektor. Die exakte Naturwissenschaft verfährt in bezug auf die Begriffe, die sie einführt, wesentlich anders wie die Philosophie. Sie legt nämlich Wert darauf, jeden Begriff nicht bloß qualitativ zu fassen, sondern sofort auch quantitativ, d. h. als mathematische Größe; mit Begriffen, die einer solchen Fixierung sich nicht zugänglich erweisen, kann sie nichts anfangen; diese müssen dann eben so lange zerlegt oder reduziert werden, bis sich Begriffe ergeben, die als mathematische Größen festgelegt werden können.

Diese „Größen" sind nun aber von sehr verschiedener Art. Um recht einfach zu bleiben, wollen wir hier nur zwei Arten ins Auge fassen. Sie unterscheiden sich dadurch, daß die zweite, im Gegensatz zur ersten, von räumlichem Charakter ist. Die erste von ihnen ist von demselben Charakter wie die Zahlen unseres Zahlensystems, d. h. sie stellt eine einfache Mannigfaltigkeit vor, sie läßt sich auf einer einfachen Skala festlegen, sie ist durch einen Zahlenwert mit Hinzufügung der Bezugseinheit vollständig definiert; deshalb hat diese Klasse von Größen den Namen „Skalar" erhalten. Der, nächst der Zahl selbst, bekannteste Skalar ist die Temperatur (z. B. 20° Celsius).

Dem Skalar steht der „Vektor" gegenüber. Er ist eine räumliche Größe, sein typischer Vertreter ist die Strecke oder Länge. Zu Zahlenwert und Benennung muß hier noch ein Drittes hinzugefügt werden, da doch eine Strecke, bei gleicher Länge, sich in sehr verschiedenen Richtungen erstrecken kann, vertikal oder horizontal, und im letzteren Falle wiederum links-rechts oder vorn-hinten oder von Südosten nach Nordwesten; man muß also z. B. sagen: 20 Meter, unter 10° von unten nach oben ansteigend, und um 30° von der Linie Süd-Nord im Uhrzeigersinne abweichend. Man kann indessen, indem man von den drei Raumdimensionen Gebrauch macht, noch anders verfahren. Man kann die Strecke AB, Figur 1, zunächst auf die

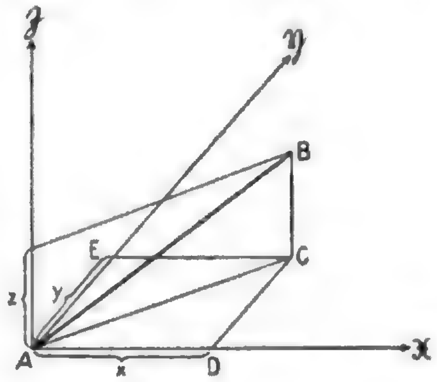


Fig. 1.

Horizontalebene projizieren, indem man vom Endpunkte das Lot BC fällt, AC ist dann die Horizontalprojektion von AB; und nun kann man diese schräge Horizontallinie wiederum auf die Linksrechtsachse 𝔛 einerseits, auf die (perspektivisch gezeichnete) Vornhintenachse 𝔜 andererseits projizieren, wodurch man die Projektionen AD und AE erhält; statt das Lot BC zu fällen, hätte man übrigens damit anfangen können, die Projektion AF auf die Obenuntenachse 𝔷 herzustellen. Schließlich erhält man also statt der Strecke s ihre drei Projektionen oder, wie man sagt, rechtwinkligen Komponenten x, y, z. Die Strecke x ist zwar auch eine Raumgröße, aber trotzdem kein Vektor im eigentlichen Sinne, weil es keine Mannigfaltigkeit der Richtung gibt, alle x-Strecken vielmehr die gleiche Richtung haben; und dasselbe gilt von y und z. Damit ist also der Vektor auf drei Skalare zurückgeführt. Seit den Anfängen der mathematischen Naturlehre hat man länger als zwei Jahrhunderte stets mit den Komponenten operiert, was umständlich, aber notwendig war, da man keine Rechnungsmethoden für Vektoren kannte; erst

Digitized by Google

seit einigen Jahrzehnten ist das durch die Erfindung der Vektorenrechnung anders geworden, ohne daß durch sie die ältere Methode ganz verdrängt worden wäre.

2. Kraft und Potential. Eine der wichtigsten Vektorgrößen in der Physik ist die Kraft, die wir hier in einem möglichst unmetaphysischen Sinne nehmen und folgendermaßen ableiten wollen, wobei wir uns an das Beispiel der Bewegungen ponderabler Körper halten. Die Bewegung eines Massenteilchens ist zunächst charakterisiert durch den Vektor Geschwindigkeit, d. h. durch das Tempo, in dem der Ort mit der Zeit geändert wird. Aber im allgemeinen ändert sich bei einer Bewegung nicht bloß der Ort, sondern auch die Geschwindigkeit ihrerseits, und das Tempo, in dem sie sich ändert, ist der zweite Vektor Beschleunigung. So könnte man fortfahren und zu immer höheren Vektoren aufsteigen; wenn sich nicht gezeigt hätte, daß es am vorteilhaftesten für die Darstellung der Naturerscheinungen ist, bei dem Begriffe der Beschleunigung stehen zu bleiben. Aber in einer anderen Hinsicht läßt dieser Begriff noch Einfachheit vermissen; dann nämlich, wenn man die Bewegung verschiedener Körper miteinander vergleicht. Man stellt nämlich leicht fest, daß, obwohl die Umstände ganz dieselben sind, doch verschiedene Körper verschiedene Beschleunigung erfahren; die Beschleunigung kann also unmöglich zur erschöpfenden Charakterisierung der Bewegung ausreichen. Deshalb multipliziert man sie noch mit einem, für jeden Körper charakteristischen Faktor, der seinen Widerstand gegen Beschleunigung darstellt, und den man seine Masse nennt; und dem Produkte beider Größen gibt man den Namen Kraft. Durch diese Größe, die, als Produkt eines Vektors mit einem Skalar, natürlich ebenfalls ein Vektor ist, ist der Bewegungsvorgang vollständig bestimmt. Von dem Gebiete der Bewegungserscheinungen kann man nun zu den übrigen physikalischen Gebieten übergehen, überall erweist sich der Kraftbegriff, in der obigen Art rein formal gefaßt, als maßgebend. Ueberall erhebt sich daher die Aufgabe, den Kraftvektor K in die Komponenten X, Y, Z zu zerlegen, wobei man durch zweimalige Anwendung des Pythagoras die Formel

$$K = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

und, wenn u, v, w die Winkel des Kraftvektors mit den Achsen sind, die umgekehrten Formeln

$$X = K \cdot \cos u,$$
$$Y = K \cdot \cos v,$$
$$Z = K \cdot \cos w$$

erhält. Es scheint sonach, daß es auch in dem Falle der Kraft nur zwei Möglichkeiten gibt: entweder man rechnet mit Komponenten oder man führt die Vektorrechnung ein.

Und doch gibt es, was auf den ersten Blick überraschen muß, noch eine dritte Möglichkeit, nämlich die, mit einer einzigen Größe auszukommen, die trotzdem kein Vektor, sondern ein Skalar ist. Um das verständlich zu machen, ist es am besten, an ein allgemein bekanntes Phänomen anzuknüpfen. In unserer Atmophäre finden Luftströmungen von bestimmter Größe und Richtung statt; der Einfachheit halber wollen wir uns auf die horizontalen beschränken. Statt nun diesen Vektor oder seine beiden Komponenten zu betrachten, kann man sich die Sache wesentlich vereinfachen, indem man einen Skalar einführt: den Luftdruck; allerdings hat der Luftdruck Richtungen, aber er ist eben nach allen Seiten gerichtet und darum kein Vektor, sondern ein durch eine Zahl, z. B. cm Quecksilber, angebbar. Haben zwei benachbarte Punkte der Atmosphäre verschiedenen Luftdruck, so entsteht ein Wind in der Richtung des Luftdruckgefälles und in einer diesem Gefälle entsprechendem Stärke, unter Gefälle hier wie immer die Abnahme im Verhältnis zur Strecke, auf der sie stattfindet, verstanden. Betrachten wir einen Punkt im Zusammenhange mit dem Kranze seiner Nachbarpunkte, so hat der Wind die Richtung des stärksten Luftdruckgefälles (von gewissen, das Problem verwickelnden Einflüssen, wie Temperatur, Erddrehung usw., ist hier abgesehen).

Wie nun der Luftdruck zum Winde, so verhält sich ein Skalar, der zuerst von den großen Mathematikern des 18. Jahrhunderts in die Wissenschaft eingeführt wurde, zum Kraftvektor. Sie nannten ihn Kräftefunktion, in besonderen Fällen aber Potential; und dieser letztere Name hat den ersteren allmählich ganz verdrängt. Es wurde also die Frage gestellt: gibt es Fälle, in denen die Kraft ein Potential hat? In denen es also einen von Ort zu Ort variierenden Skalar gibt von der Eigenschaft, daß sein Gefälle in der $\mathfrak{X}$-, $\mathfrak{Y}$-, $\mathfrak{Z}$-Richtung die Kompenenten X, Y, Z der Kraft, und sein Gefälle in der Richtung des stärksten Gefälles die Kraft selbst nach Größe und Richtung liefert? Die Frage wurde bejaht und festgestellt, daß es ein Potential gibt, falls das System, wie man sagt, konservativ ist, d. h. wenn der Satz von der Erhaltung der lebendigen Kraft (heute sagen wir: kinetischen Energie) gültig ist. Alle rein mechanischen Vorgänge bestehen nämlich lediglich aus einem Austausch zwischen lebendiger und toter oder Spannkraft, zwischen kinetischer und potentieller Energie; ist die eine, so ist auch die andere wieder dieselbe geworden. An

Digitized by Google

dieser Feststellung hat sich inzwischen nichts geändert. Was sich aber völlig geändert hat, ist dies, daß wir heute nicht mehr sagen: es gibt Fälle, wo der Satz gilt, sondern: es gibt keinen Fall, wo er nicht gälte. Wir haben eben den Gesichtspunkt erweitert und ziehen auch die nichtmechanischen Teile des Prozesses, besonders die Wärmevorgänge, in Betracht; und damit gelangen wir eben zu dem allgemein gültigen Prinzip von der Erhaltung der Energie. Es gibt nur konservative Systeme, nicht im eng-mechanischen Sinne (denn das Pendel und die Stimmgabel sind doch offensichtige Gegenbeispiele), sondern im universellen Sinne. Und in diesem Sinne existiert eben stets ein Potential; das Potential ist schließlich nichts anderes wie die potentielle Energie: es ist die Spannung, die sich irgendwann einmal zur kinetischen Energie auslöst, wie der Luftdruck zum Winde.

Es muß hier eine Zwischenbemerkung gemacht werden. Ganz so einfach liegt die Sache in Wahrheit nicht. Die Behauptung, daß es immer ein Potential der wirkenden Kräfte gebe, müßte näher erläutert, und es müßte dabei auf die einzelnen Arten von Kräften eingegangen werden, die uns in der Natur gegenübertreten, bezw. die wir einführen müssen, um dem Charakter der Erscheinungen gerecht zu werden. Diejenige Art von Kräften, auf die sich das Obige ohne Umschweife bezieht, ist die Klasse der Zentralkräfte, d. h. der anziehenden und abstoßenden Kräfte; und der wichtigste Spezialfall wiederum ist der, wo sich die Kraft ihrer Größe nach ändert im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat der Entfernung — ein Fall, der die Phänomene der Gravitation, der Elektro- und Magnetostatik, aber auch noch andere umfaßt. Den Zentralkräften stehen die ablenkenden oder drehenden Kräfte gegenüber, wie sie z. B. in der Elektrodynamik und im Elektromagnetismus auftreten; hier muß der Sinn einer etwaigen Potentialfunktion besonders erläutert werden. An diesem Hinweise muß es genügen; vielleicht erhält man eine ungefähre Vorstellung von dem, um was es sich handelt, wenn wieder an das frühere Gleichnis angeknüpft und gesagt wird, daß die Beziehung zum Luftdruck nur so lange einfach bleibt, als es sich ausschließlich um Luftströmungen handelt, daß dagegen diese Beziehung einen besonderen Charakter annimmt, sobald auch drehende Bewegungen, also Luftwirbel, auftreten.

3. Graphische Darstellung. Kraft- und Potentialfeld. Die an sich ganz abstrakte Lehre von den Kräften und dem Potential gewinnt große Anschaulichkeit und damit weit leichtere Verständlichkeit, wenn man sie zeichnerisch darstellt. Hier wird sofort klar, um wieviel einfacher ein Skalar ist als ein Vektor. Denn wenn wir uns wieder an das Gleichnis von Luftdruck und Wind halten, so müssen wir, um die Winde auf einem Stücke der Erdoberfläche darzustellen, in jedem Punkte, wo beobachtet wurde, einen Pfeil in bestimmter Richtung einzeichnen und ihm eine Zahl beifügen; im Gegensatz zu dieser Windkarte (Fig. 2) genügen für die Luftdruckkarte (Fig. 3)

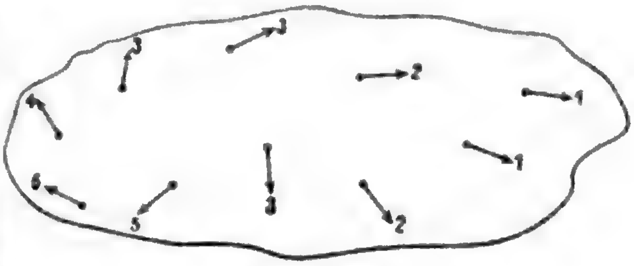


Fig. 2.

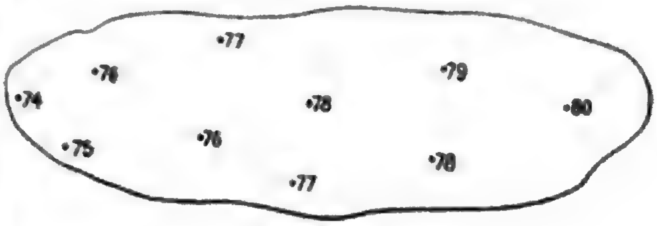


Fig. 3.

einfache Punkte mit Zahlen. Dabei ist die Luftdruckkarte nur auf den ersten Blick ärmlicher als die Windkarte; bei näherer Betrachtung und, noch besser, bei geeigneter Ausgestaltung, besagt sie sogar mehr als die bloße Windkarte. Fassen wir einen Punkt P (Fig. 4) ins Auge, in dem der Luftdruck 76 (cm Hg) herrscht; in einem Punkte P_w westlich davon ist er vielleicht 77, in P_o östlich nur 75. Daraus folgt, daß irgendwo nördlich ein Punkt P_n und südlich ein Punkt P_s liegen muß, wo der Luftdruck ebenfalls 76 ist, da doch sonst beim Uebergange von P_w zu P_o nördlich bezw. südlich herum eine Unstetigkeit eintreten würde, und das wird jedenfalls nicht die Regel sein. Auf diese und eine entsprechend fortgesetzte Weise erhält man die durch P_nPP_s gehende Linie gleichen Luftdrucks, eine Isobare; und

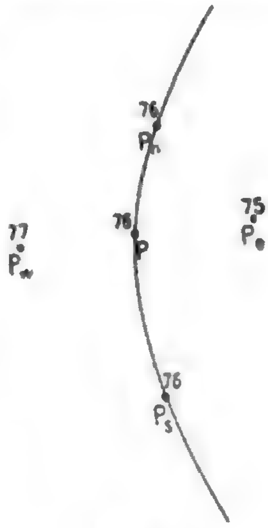


Fig. 4.

Digitized by Google

ebenso wie die Isobare 76 kann man nun die Isobaren 77 und 75 sowie alle anderen Isobaren zeichnen, wobei man der Gleichförmigkeit halber natürlich darauf achten wird, daß die Luftdruckdifferenz zwischen zwei nachbarlichen Isobaren immer die gleiche, hier z. B. 1 cm, ist. Ziehen wir ferner an verschiedenen Stellen Linien (Fig. 5), die, auf

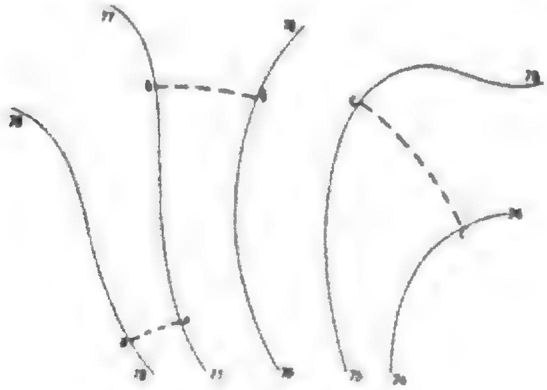


Fig. 5.

beiden Isobaren senkrecht stehend, diese miteinander verbinden; offenbar sind das Windlinien, da sie die Richtungen stärksten Luftdruckgefälles repräsentieren. Auf allen diesen Linien aa', bb', cc' ist die absolute Abnahme des Luftdrucks die gleiche, nämlich 1 cm; aber die Linien sind doch verschieden lang, und folglich ist das Gefälle des Luftdrucks auf ihnen sehr verschieden, bei aa' groß, bei bb' von mittlerer Größe, bei cc' klein; bei aa' wird sonach ein kräftiger, bei bb' ein mittlerer, bei cc' ein schwacher Wind herrschen. Man erhält also den Satz: je dichter gedrängt irgendwo die Isobaren sind, desto heftiger ist der Wind.

Aus bestimmten Gründen erscheint es angezeigt, noch ein zweites Gleichnis heranzuziehen, hergenommen von den Reliefverhältnissen der Erdoberfläche. Von jedem ihrer Punkte kann man im allgemeinen in zwei entgegengesetzten Richtungen horizontal fortschreiten; setzt man das fort, so erhält man eine Höhenkurve oder Isohypse. Durch jeden Punkt geht eine Isohypse, für die Zeichnung trifft man eine Auswahl nach gleichen Höhendifferenzen, z. B. 100 m oder 10 m. Um einen Gipfel- oder Kesselpunkt herum sind die Isohypsen geschlossene Kurven, an einer Normalküste parallele Linien, in einem Gipfel- oder Kesselpunkte reduziert sich die Isohypse auf einen Punkt, in einer horizontalen Ebene dehnt sie sich zur ganzen Fläche aus. Am merkwürdigsten verhält sich ein Paß- oder Sattelpunkt: hier gibt es, zwischen den beiden Richtungen maximaler Steigung und den beiden Richtungen maximaler Senkung, vier Richtungen horizontalen Fortschreitens, also zwei sich schneidende Isohypsen (Fig. 6). Seehöhe ist ein Skalar, der zugehörige Vektor ist die Böschung, und das Bild der Isohypsen gibt zugleich Aufschluß über die Böschungsverhältnisse: wo sie dicht gedrängt liegen, ist das Gelände steil und umgekehrt; die Böschungslinien selbst aber erhält man durch Einzeichnen der senkrechten Brücken zwischen den Isohypsen.

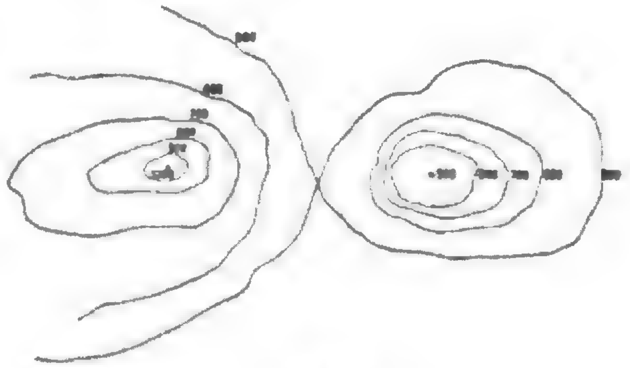


Fig. 6.

Geht man jetzt vom Bilde zum eigentlichen Gegenstande über, so gelangt man zur anschaulichen Darstellung der Kraft- und Potentialverhältnisse. Einen Raum, in dem Kräfte wirksam sind, nennt man ein Kraftfeld und, falls ein Potential existiert, ein Potentialfeld. Da ein solches Feld im allgemeinen räumlichen Charakters ist, gibt es hier durch jeden Punkt nicht bloß eine Linie, sondern sogar eine Fläche, in deren sämtlichen Punkten das Potential gleichen Wert hat wie in jenem Punkte; man nennt eine solche Fläche eine Fläche gleichen Potentials oder Aequipotentialfläche oder Gleichgewichtsfläche oder, indem man an das zweite der obigen Gleichnisse anknüpft, Niveaufläche. An jede Niveaufläche reihen sich beiderseits andere an, so daß das Feld vollständig von Niveauflächen erfüllt ist. Natürlich muß man praktisch eine Auswahl treffen, und man trifft sie so, daß die Differenz der Potentialwerte zwischen je zwei Nachbarflächen überall dieselbe ist, z. B. 1 oder 10 oder $^1/_{10}$, je nach den Verhältnissen. Wo die Flächen dicht gedrängt liegen, ist die Kraft groß; wo sie weit auseinander liegen, ist sie klein; sie ist allgemein umgekehrt proportional dem Abstande benachbarter Niveauflächen an der betreffenden Stelle. Statt Kraftgröße wollen wir übrigens im folgenden meist Feldstärke sagen, indem wir der Einfachheit halber annehmen, die Kraft wirke auf eine Masse oder einen Pol von der Stärke eins, der oben erwähnte Faktor, der aus der Beschleunigung die Kraft macht, sei eins; hat er einen anderen Wert, so ist einfach mit ihm zu multiplizieren.

Digitized by Google

Um das Feldbild zu vervollständigen, fügen wir nun zu den Niveauflächen die überall auf ihnen senkrechten Kraftlinien hinzu, d. h. die Linien, die in jedem ihrer Elemente die Richtung der an der betreffenden Stelle zu der betreffenden Zeit wirksamen Kraft darstellen. Sie laufen, ohne sich zu schneiden, in wechselnden Abständen nebeneinander her; nur einzelne Punkte oder Stellen kann es geben, wo dieser Verlauf eine Ausnahme erleidet: das sind die Quellen des Feldes (wo die Kraft sozusagen in das Feld hineinsprudelt) und die Senken (wo sie aus dem Felde verschwindet); von den Quellen gehen alle Kraftlinien aus, um sich in den Senken wieder zu vereinigen. Sofort aber erhebt sich die Frage, ob denn diese Linien nicht, außer über die Richtung, auch über die Größe der Kraft einen Aufschluß zu geben vermögen; und diese Frage läßt sich auf zwei formal verschiedene Arten bejahen, von denen jede gewisse Vorzüge hat.

Bei der ersten Methode greifen wir auf einer Niveaufläche irgendeine kleine Fläche heraus (Fig. 7), und ziehen durch jeden ihrer Randpunkte die durch ihn hindurchgehende

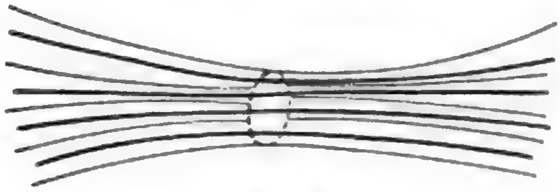


Fig. 7.

Kraftlinie, so daß wir ein Kraftlinienbündel erhalten, das einen schlauch- oder röhrenförmigen Raum umgrenzt. Dieser Raum heißt Kraftröhre, und das Produkt aus Kraft und Röhrenquerschnitt heißt der Kraftfluß oder die Kraftströmung an der betreffenden Feldstelle. Es ist nun leicht einzusehen und eine Folge der geometrischen Konfiguration der Niveauflächen, daß der Kraftfluß längs einer Röhre ungeändert bleibt; es gilt der Satz von der Erhaltung des Kraftflusses, oder der Satz: Das Produkt aus Feldstärke und Kraftröhrenquerschnitt ist konstant; noch anders formuliert: die Feldstärke ändert sich längs einer Kraftröhre im umgekehrten Verhältnis des Querschnitts; wo sich die Röhre erweitert, wird die Kraft klein, wo sie sich zusammenschnürt, wird sie groß. Schließlich kann man noch einen Schritt weiter gehen und die dem obigen benachbarten und alle übrigen kleinen Flächenstücke so wählen, daß der Kraftfluß auch von Röhre zu Röhre und somit im ganzen Felde der gleiche ist. Prinzipiell am bequemsten ist es natürlich, die Flächengrößen so zu wählen, daß der Kraftfluß gerade eins, die Feldstärke also gerade der reziproke Wert des jeweiligen Querschnitts wird; in diesem Falle nennt man die Kraftröhren nicht selten Einheitssolenoide oder kurz Solenoide. Das ganze Bild ist, wie man längst bemerkt haben wird, hergenommen von dem fließenden Wasser, dessen Geschwindigkeit ebenfalls im umgekehrten Verhältnis zum Querschnitt des Bettes steht. Immerhin hat das Bild etwas Unnatürliches insofern, als es mit Röhren operiert, während doch im Innern auch Kraftlinien laufen; und wenn man demgemäß von der Idee der Kraftröhre zu der des Kraftfadens übergeht, so tut man schon besser, die Begrenzung ganz aufzugeben, und damit kommt man auf die zweite der genannten Methoden, die namentlich in der Technik jetzt allgemein üblich ist.

Der Grundgedanke ist der, daß man sich sagt: so gut, wie ich unter den unzähligen Niveauflächen bestimmte auswähle, muß ich doch auch aus der unbegrenzten Zahl der Kraftlinien eine geeignete Auswahl treffen; eine Aufgabe, die hier freilich schwieriger ist, da doch die Kraftlinien nicht, wie die Niveauflächen, durch bestimmte Zahlenwerte charakterisiert sind, von denen einfach gleiche Differenzen zu nehmen wären. Um einzusehen, wie man trotzdem zum Ziele gelangt, wollen wir den einfachsten Fall betrachten, den Fall nämlich, daß die Quelle des Feldes ein punktförmiger Pol ist und daß infolgedessen die Feldstärke mit wachsender Entfernung vom Pole im quadratischen Verhältnis abnimmt. Es leuchtet nämlich ein, daß hier die Niveauflächen, schon aus Symmetriegründen, die um den Pol geschlagenen Kugelflächen sind; und wenn wir diese Flächen in ihrer ganzen Ausdehnung betrachten und bedenken, daß ihre Flächengröße mit wachsender Entfernung wie deren Quadrat wächst, so muß, damit der Kraftfluß konstant bleibt, die Kraft selbst umgekehrt proportional mit dem Quadrate der Entfernung sein. Nehmen wir nun an, der Pol habe die Stärke 1 oder die Quelle habe die Ergiebigkeit 1, so ist die Feldstärke auf der mit dem Radius 1 geschlagenen Kugel $1:1^2$, also gerade 1; die Größe dieser Kugelfläche ist aber 4π, ebenso groß ist also der Kraftfluß. Lassen wir nun vom Pole 4π Kraftlinien, gleichmäßig verteilt, ausgehen, so kommt auf jede Flächeneinheit unserer Kugel gerade eine Kraftlinie, entsprechend der hier herrschenden Feldstärke. Die Kugel mit dem Radius 2, auf der die Feldstärke nur noch $1:2^2$, also nur noch $^1/_4$ ist, wird ebenfalls von 4π Kraftlinien durchsetzt, die sich aber auf die vierfache Fläche verteilen, so daß auf die Flächeneinheit nur eine viertel Kraftlinie entfällt, usw. So ist es erreicht, daß der Wert der Feldstärke überall durch die

Digitized by Google

Anzahl der durch die Flächeneinheit der Niveaufläche hindurchtretenden Kraftlinien dargestellt wird. Daran, daß 4π (12,6...) keine ganze Zahl ist, braucht man sich nicht zu stoßen, da es doch hier nur auf das Prinzip ankommt, und überdies praktisch jede Quelle in unserem absoluten Maßsystem eine durch eine so große Zahl dargestellte Ergiebigkeit m hat, daß das Produkt $4\pi m$ bis auf einen kleinen Bruchteil seines Wertes ganzzahlig ist; und auch die Schwierigkeit, die Kraftlinien gleichmäßig nach allen Richtungen zu verteilen, ist rein technischer Natur und braucht uns hier nicht zu berühren.

Von dem Spezialfalle einer punktförmigen Quelle kann man nun auf rein formal-rechnerischem Wege zu allen anderen Fällen übergehen, wobei das Superpositionsprinzip gilt und an dem obigen Ergebnis sich nichts ändert. Man erhält also den Satz: Die Feldstärke ist überall dargestellt durch die Anzahl der die Flächeneinheit der dortigen Niveaufläche durchsetzenden Kraftlinien; kurz gesagt: durch die Kraftliniendichte. In Figur 8 ist die Abnahme der Kraftliniendichte für den elementaren Fall anschaulich

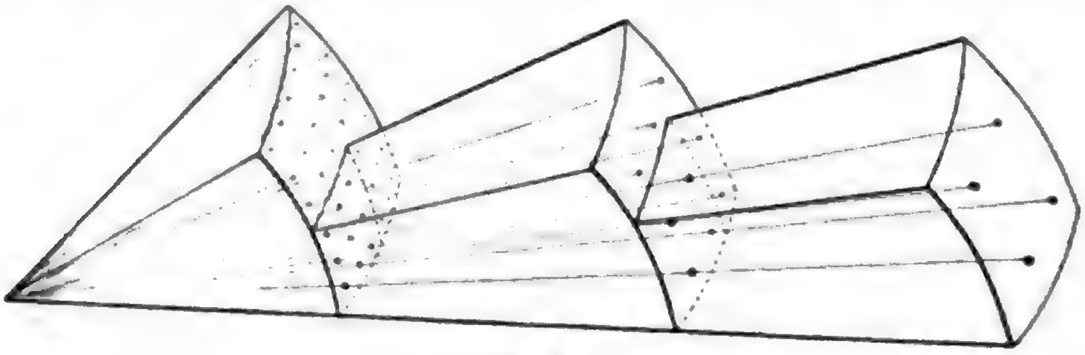


Fig. 8.

dargestellt; die drei Kugelflächenstücke sind gleich groß, befinden sich aber in Abständen von der Quelle, die sich wie 1 : 2 : 3 verhalten; die Anzahl der hindurchtretenden Kraftlinien ist bezw. 36, 9, 4; diese drei Zahlen verhalten sich wie $(1)^2 : (\frac{1}{2})^2 : (\frac{1}{3})^2$ und ebenso verhalten sich die Feldstärken in den betreffenden Polabständen.

4. Kraftlinien. Stromlinien. Bahnlinien. Die angedeuteten Vorstellungen nehmen auf diese Weise einen greifbaren Charakter an: die Kraftlinien erfüllen das Feld als etwas Reales, die Kraft fließt sozusagen wirklich von einem Punkt zum anderen, die Niveauflächen sind Flächen des Gleichgewichts. Trotzdem muß man sich immer gegenwärtig halten, daß Kraft nur ein kausaler Hilfsbegriff ist, und daß der Kraft die Wirkung als das allein Beobachtete gegenübersteht. Auf den fallenden Stein z. B. wirkt die Schwerkraft, ihre Kraftlinie geht senkrecht nach unten, und mit ihr fällt die Bahnlinie des Steines tatsächlich zusammen. Man könnte hierdurch zu der Meinung veranlaßt werden, Kraftlinien und Bahnlinien seien identisch; ein anderes Beispiel wird zeigen, daß das durchaus nicht der allgemeine Fall ist, und daß sich überdies zwischen beide Begriffe noch ein dritter einschiebt. Es ist das Beispiel des fließenden Wassers: auch hier ist die treibende Kraft die Schwerkraft, aber das Wasser fließt nicht senkrecht, sondern schräg nach unten; der Grund ist der, daß es sich hier um eine zwangläufige, nicht um eine freie Bewegung handelt, das Wasser muß sich an den Verlauf der festen Erdoberfläche halten, die sein Eindringen verhindert. Natürlich kann man dieses Hindernis als eine neue Kraft einführen, mit der Schwerkraft kombinieren und erhält dann eine kombinierte Kraftlinie, mit der dann die Bahnlinie zusammenfällt; aber das ist ein nicht allgemein zweckmäßiges und deshalb nur in gewissen Fällen angewandtes Verfahren. Aber selbst wenn wir es für jetzt akzeptieren, machen wir doch noch einen Denkfehler, wenn wir Kraftlinien und Bahnlinien identifizieren; und zwar deshalb, weil die beiden Begriffe eine ganz verschiedene Beziehung zu Raum und Zeit haben. Eine Kraftlinie ist der Inbegriff aller Linienelemente, deren jedes angibt, welche Richtung an der betreffenden Stelle die Kraft im jetzigen Augenblicke, also für alle Elemente in demselben Augenblicke hat. Dagegen ist die Bahnlinie der Inbegriff aller Linienelemente, die ein und dasselbe Wasserteilchen mit der Zeit zurücklegt; das ist doch offenbar nicht die Parallele zum Kraftlinienbegriffe. Wohl aber gibt es eine solche: es ist der Inbegriff aller Linienelemente, deren jedes die Bahn des dort gelegenen Wasserteilchens im jetzigen Augenblicke angibt. Eine solche Linie nennt man eine Stromlinie, und die Schar der ausgewählten Stromlinien gibt eine Anschauung vom augenblicklichen Zustande des „Strömungsfeldes". Kraftlinien und Stromlinien sind Augenblicks-

Digitized by Google

bilder, Bahnlinien sind Zeitbilder. Nun gibt es natürlich einen naheliegenden Fall, in dem Stromlinie und Bahnlinie trotzdem identisch wird: wenn nämlich die Bewegung zeitlich immer dieselbe bleibt, wenn das folgende Wasserteilchen lediglich die Rolle des vorhergehenden übernimmt, wenn die Bewegung, wie man sagt, stationär ist. Ist aber die Bewegung veränderlich, so setzt sich das erste Linienelement als zeitliche Bahnlinie anders fort wie als augenblickliche Stromlinie, die wirkliche Bahnlinie weicht von der Stromlinie, von Element zu Element mehr ab, sie geht von einer Stromlinie zur anderen hinüber nach Art der Verbindungsweichen auf vielgleisigen Eisenbahnstationen; man vergleiche die Figur 9, in der die Strom-

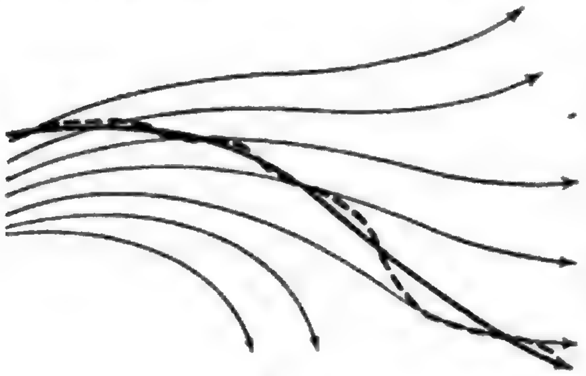


Fig. 9.

linien schwach, die Bahnlinie erstens grob als Wellenlinie mit endlichen Elementen und dann in ihrer wahren, ausgeglichenen Gestalt gezeichnet ist.

Das Ergebnis dieser Betrachtung ist also dieses: es gibt drei Scharen von Kurven im Felde: Kraftlinien, Stromlinien und Bahnlinien; und nur in besonderen Fällen werden zwei von ihnen oder alle drei miteinander identisch.

5. **Gravitationsfeld.** Gehen wir nun die wichtigsten Felder der Reihe nach durch und beginnen wir mit demjenigen Felde, das unser Interesse am meisten verdient und doch am wenigsten wachruft, letzteres deshalb, weil wir fortwährend in ihm leben, weil die in ihm stattfindenden Verhältnisse uns zur Gewohnheit geworden sind. Wir Irdischen leben im Felde der Erdschwere. Wir leben darin, ob wir uns nun im Zimmer oder im Freien, auf Bergen oder in Bergwerken, auf festem Lande oder auf dem Wasser befinden; wir können aus diesem Felde, trotz der Riesenfortschritte der Technik, nicht heraus und werden es vielleicht niemals können. Bei Beschränkung auf ein kleines, ebenes Stück der Erdoberfläche und auf diejenigen Höhen, zu denen der Mensch sich erheben kann, hat dieses Feld eine überaus einfache Konstitution: die Niveauflächen sind horizontale Ebenen, alle in gleichen Abständen voneinander (denn die Erdschwere ist in einigen km Höhe kaum merklich anders als am Boden); die Kraftlinien sind vertikale Gerade, von oben nach unten gerichtet, und sie müssen so ausgewählt werden, daß durch das qcm der Niveauflächen überall 981 Kraftlinien hindurchtreten (im absoluten Maße ist nämlich die Schwerkraft gleich 981 Dynen); aus naheliegenden Gründen konnten in Figur 10 nur wenige Kraftlinien gezeichnet

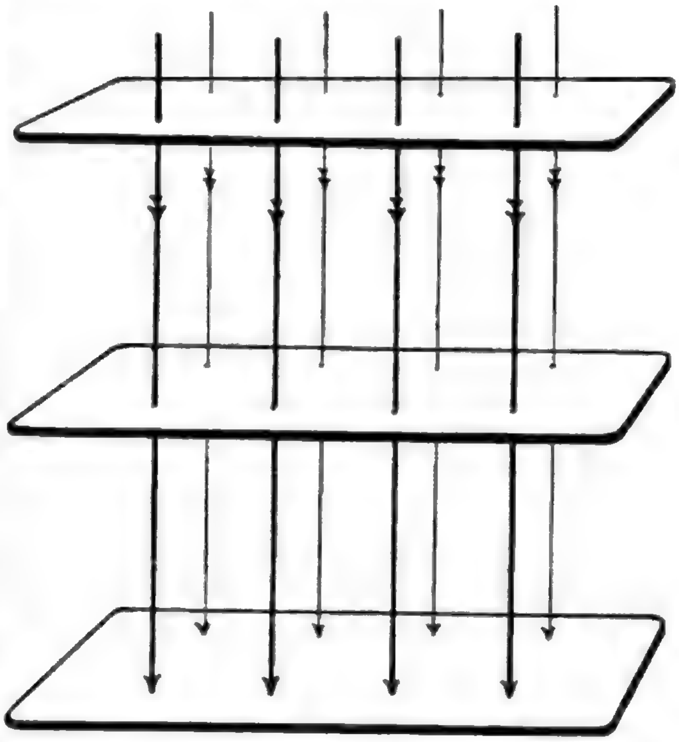


Fig. 10.

werden. Man hat es hier mit einem gleichförmigen Felde zu tun, in dem doppelten Sinne, daß die Kraft überall dieselbe Richtung und dieselbe Größe besitzt. Diesen Charakter büßt das Feld ein, wenn man zur Betrachtung des Erdganzen und zu ihrer weiteren Umgebung übergeht; denn die Erde ist eine Kugel, und im Gegensatze zu einem kleinen Teiche, der eben ist, hat der Ozean eine sphärische Oberfläche. Aus allgemeinen und speziellen Tatsachen ergibt sich nun, daß die Quelle des Feldes der Erde in ihrem Mittelpunkte liegt, und daß demgemäß die Feldstärke abnimmt wie das Quadrat der Entfernung von diesem Punkte wächst; hieraus erklärt es sich ja, daß in mäßigen Höhen die Schwere nicht wesentlich abnimmt, da diese Höhen gegenüber dem Erdradius kaum in Betracht kommen. Jetzt aber, bei der allgemeineren Betrachtung, liegt die Sache natürlich ganz anders, wir erhalten als Niveauflächen konzentrische Kugeln und als Kraftlinien ihre Radien.

Digitized by Google

Nun ist das Potential die Größe, deren Gefälle — in der Sprache der Mathematik der negative Differentialquotient (Dq) — die Feldstärke, hier also, wenn r die Entfernung vom Erdzentrum ist, die Größe $1/r^2$ ergibt; und das ist die Größe 1/r (weil, wenn dr eine kleine Größe ist, der Ausdruck

$$\frac{1/r - 1/(r + dr)}{dr}$$

bis auf einen zu vernachlässigenden Fehler gerade $1/r^2$ ergibt). Nimmt man nun noch die Masse der Erde hinzu (die Ergiebigkeit der Erdquelle), so erhält man als Potential der Erde m/r. Die Auswahl der Niveauflächen muß also derart getroffen werden, daß ihre reziproken Radien eine immer um dieselbe Zahl abnehmende Zahlenreihe bilden. Zu diesem Zwecke müssen die Radien selbst nach außen hin immer rascher wachsen, wie das die Figur 11 veranschaulicht, in

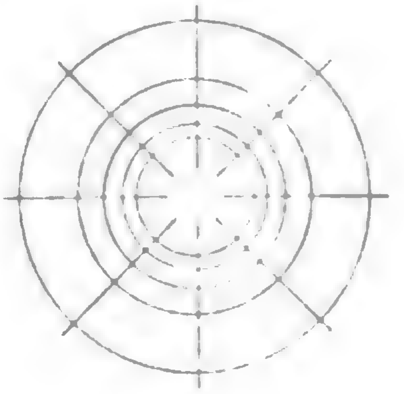


Fig. 11.

der sich die reziproken Radien der Niveaukreise wie 6 : 5 : 4 : 3 : 2, also die Radien selbst wie 1/6 : 1/5 : 1/4 : 1/3 : 1/2 verhalten.

Uebrigens muß jetzt ein falscher Ausdruck verbessert werden, der, nicht ohne Absicht, vorhin gebraucht wurde. Die Kraftlinien eines Feldes laufen natürlich ganz allgemein von der Quelle zur Senke. Nun laufen sie in unserem Falle, da die Gravitation ein Anziehungsphänomen ist, nach dem Erdzentrum hin; es bleibt also nichts übrig, als den Erdmittelpunkt nicht als Quelle, sondern als Senke anzusehen. Und was die Niveauflächen angeht, so nehmen ihre charakteristischen Zahlen, die Potentiale, ganz allgemein von der Quelle zur Senke ab, während man hier, um im Bilde zu bleiben, nach außen abnehmende Zahlen einsetzen muß. Um diesen Widerspruch zu beseitigen, muß man annehmen, daß die Gravitation ein negatives Potential besitzt oder vielmehr, da dies ein Unding wäre, daß es im Weltenraume ein für allemal ein sehr großes positives Potential gibt, von dem die zur Beobachtung gelangenden Potentialwerte nur jeweilig abgezogen werden, daß also das Erdpotential V z. B. nicht durch m/r dargestellt wird, sondern durch C—m/r, wo C eine sehr große Konstante ist, die im übrigen keine Rolle spielt, da es sich immer nur um die Aenderungen von V handelt.

Das Bild, das man von dem Gravitationsfelde, jetzt ganz allgemein gefaßt, gewinnt, ist somit das folgende: Um jeden Weltkörper hat man eine Schar sphärischer Wellen, die nach außen immer länger und schwächer werden; und diese Wellensysteme schneiden sich wie die von auf einen Teich geworfenen Steinchen herrührenden. Was geschieht an den Störungsstellen? Wir wollen diese Frage nicht allgemein verfolgen; aber eins muß herausgehoben werden: die Existenz eines Punktes, wo die Wirkungen der beiden Quellen, auf die wir uns der Einfachheit halber beschränken, sich gerade aufheben: eines **Gleichgewichtspunktes**, in dem ein Körper nicht weiß, ob er z. B. auf die Erde oder auf den Mond fallen soll; jenes Punktes, dessen Zustand von **Poe**, **Verne** und **Laßwitz** dichterisch, aber lehrreich geschildert worden ist; jenes Punktes, bei dessen Ueberschreitung der Mensch, ohne es zu merken, sich plötzlich auf den Kopf stellen und von nun ab oben und unten im vertauschten Sinne gebrauchen würde. In Figur 12 sind A und B die beiden Quellen, deren Stärken wie 4 : 1 gewählt sind (bei Erde und Mond

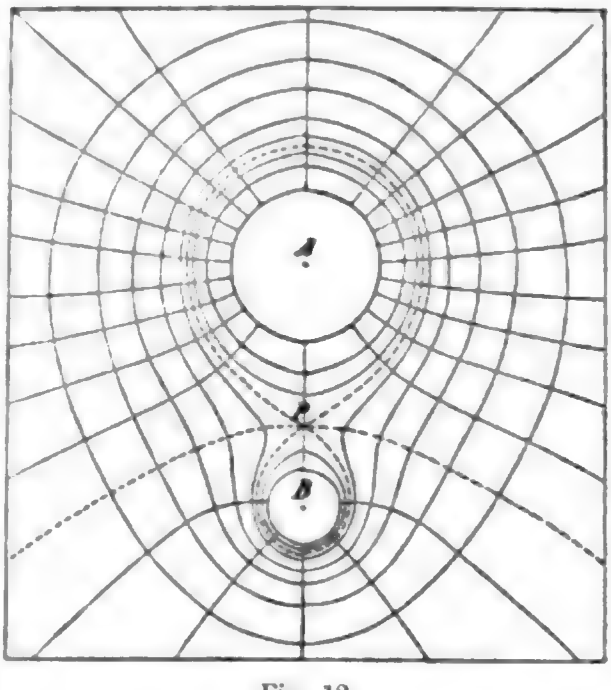


Fig. 12.

ist der Kontrast viel stärker), und P ist der Gleichgewichtspunkt; in ihm hat die Niveaufläche einen Doppelpunkt, und die Kraft ist nach allen Richtungen hin null. Man muß recht scharf auseinander halten, was es heißt: die Kraft ist null, und: das Potential

Digitized by Google

ist null. Im Gleichgewichtspunkte ist das Potential durchaus nicht null, und kann es auch gar nicht sein, da es doch die Summe der beiden Einzelpotentiale ist; null wird das Potential der Gravitation nur in der Unendlichkeit (und auch hier strenggenommen nicht null, sondern C, vgl. oben). Wir werden später Fälle kennen lernen, wo das Potential auch im Endlichen null werden kann.

Eine direkte Anschauung von der Konstitution des Gravitationsfeldes können wir uns nur in ganz besonderen Fällen verschaffen; so von den Kraftlinien in einem Zimmer, indem wir von der Decke Lote herabhängen lassen, von den Niveaulinien oder -flächen mit Hilfe der Wasserwage oder der Libelle. Die Natur selbst liefert uns Kraftlinien nur in mehr oder weniger modifizierter Gestalt, z. B. in den fließenden Gewässern, in den Abrollbahnen von Steinen, also in Fällen, wo durch die Zwangläufigkeit die Richtung stark verändert wird. Am stärksten wird diese Abänderung bei den Bewegungen der Himmelskörper, z. B. der Planeten oder der Trabanten; und zwar aus dem Grunde, weil diese Körper außer ihrer Gravitationsbewegung noch eine Impulsbewegung besitzen, die zur Folge hat, daß diese Körper nicht auf ihre Hauptkörper herunterfallen, sondern um sie kreisen. Mehr schon kommt uns die Natur entgegen für die Anschauung der Niveauflächen in der Oberfläche von Teichen und Meeren; aber auch hier wird das Bild durch die Wellenbewegung und besonders durch die größte von ihnen, Ebbe und Flut, stark getrübt.

Müssen wir so auf ein anschauliches Bild des Schwerefeldes verzichten, so haben wir, und zwar so recht eigentlich für kein anderes Feld als das der Schwere, doch eine direkte sinnlich-körperliche Empfindung; man könnte sie beinahe durch ein besonderes Sinnesorgan charakterisieren, den Schweresinn; und dieser Sinn ist von außerordentlicher Feinheit. Schon wenn der Weg, den wir gehen, nur um den Bruchteil eines Grades von der Horizontalen abweicht (so daß man etwa auf einem Blatte Papier die beiden Linien kaum trennen könnte), spüren wir, daß wir nicht auf der Niveaufläche gehen, sondern steigen oder fallen. Beim Steigen handelt es sich natürlich um die Empfindung der erforderlichen Arbeitsleistung, komplizierter ist die Analyse des Fallens, worauf einzugehen hier nicht der Ort ist.

6. Elektrisches und magnetisches Feld. Zwei Klassen von Erscheinungen, die ihren formalen Gesetzen nach ,große Analogie mit der Gravitation zeigen, sind die elektrischen und magnetischen, genauer gesagt: die elektrostatischen und magnetostatischen Erscheinungen. Das gemeinsame ist das Grundgesetz, wonach die Feldstärke direkt proportional ist der Ergiebigkeit der Quellen oder, wie man hier gewöhnlich sagt, der Stärke der Pole, die aufeinander wirken, und umgekehrt proportional mit dem Quadrate der Entfernung (solange die Pole punktförmig oder doch klein gegen ihren Abstand sind); nur ist das Gesetz nicht, wie in jenem Falle, von Newton, sondern erst um mehr als ein Jahrhundert später von Tobias Mayer, Coulomb und Cavendish erkannt worden. Aber zwei ganz merkwürdige Unterschiede finden statt: zwischen zwei Quellen, und ebenso zwischen zwei Senken, findet nicht Anziehung, sondern Abstoßung statt, die Kraftlinien zwischen zwei Polen stehen nicht, wie die zwischen Erde und Mond, in Druckspannung, sondern in Zugspannung. Nach dem früher Gesagten ist das auch das Normale, der Zustand bei der Gravitation aber anomal. Und zweitens: während es bei der Gravitation nur eine Art von Polen gibt, und zwar, mit Rücksicht auf den eben besprochenen Umstand, nur Senken, gibt es hier zwei entgegengesetzte Arten von Polen: Quellen und Senken. Während Gravitation immer nur „aufgesaugt" wird, kann Elektrizität und Magnetismus sowohl „ausgestrahlt" wie „aufgesaugt" werden. Man spricht in diesem Sinne von positiver und negativer Elektrizität bezw. von nördlichem und südlichem Magnetismus. Daneben besteht noch ein dritter, aber nur quantitativer Unterschied, betreffend die Stärke des erzeugten Feldes; und zwar in einem der ersten Vermutung entgegengesetzten Sinne: schon ein mäßiges elektrisches oder magnetisches Feld ist im Vergleich mit dem Schwerefeld ungeheuer stark; bei zwei Kugeln, die sich im elektrisierten Zustande kräftig abstoßen, würde man im unelektrischen Zustande selbst mit den feinsten Mitteln noch kaum eine Gravitationswirkung nachweisen können. Nur durch die ungeheure Masse der gravitierenden Körper, wie sie die Himmelskörper darstellen, kommt die große Intensität der Felder zustande.

In Figur 13, die ein Gegenstück zur Figur 12 bildet, ist das Feld zweier, an Stärke sich wieder wie 4 : 1 verhaltender Pole dargestellt, die aber nicht, wie dort, gleichartig, sondern von entgegengesetzter Natur sind, also der eine eine Quelle, der andere eine Senke. Während dort die Kraftlinien der beiden Pole sich abstoßen, ziehen sie sich hier an, sie bilden, wenigstens teilweise, geradezu Brücken vom einen Pole zum anderen; folglich kann es auch zwischen den beiden Polen, keinen Gleichgewichtspunkt geben. Wohl aber gibt es hier eine Niveaufläche vom Potential null (bei zwei gleich starken Polen würde es die Mittel-

Digitized by Google

ebene zwischen ihnen sein), sie ist in der Figur mit R bezeichnet und schneidet sich im Punkte P, der aber außerhalb des Systems der beiden Pole liegt. Auf die übrigen Details der Figur kann hier nicht eingegangen werden, und ebensowenig auf die zahlreichen anderen Fälle theoretischer Feldbehandlung, obgleich jeder von ihnen wieder neuartiges Interesse gewährt.

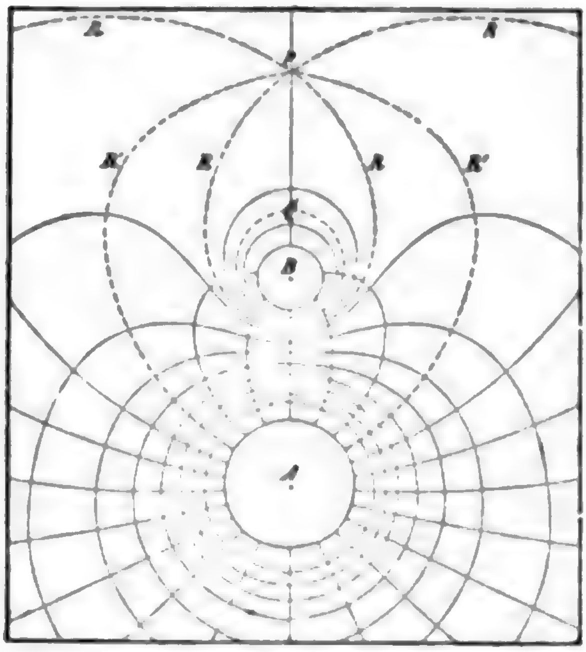


Fig. 13.

Nun kann man aber, statt, wie bisher angenommen, rechnerisch vorzugehen, d. h. die Niveau- und Kraft-Gebilde aus dem Grundgesetze abzuleiten, auch auf experimentellem Wege Feldbilder herstellen. An prinzipieller Bedeutung und an Exaktheit werden sie den berechneten nachstehen, da einerseits die rechnerischen Grundlagen absolut gesichert sind, andererseits beim Experiment sich immer unvermeidliche Fehlerquellen einstellen. Dafür aber gewähren die experimentellen Feldbilder doch einen unmittelbareren Einblick in die Natur, und ihre Herstellung ist zum Teil außerordentlich viel einfacher und rascher; namentlich gilt das von den magnetischen Bildern, die hier den Vorrang beanspruchen, und an die wir uns daher halten wollen.

Wir bringen also in irgendein magnetisches Feld eine möglichst kleine, auf ein Füßchen gestellte oder an einem Faden hängende Magnetnadel, bringen sie von Ort zu Ort und stellen überall ihre Einstellung fest; bei geeignetem Verfahren erhält man dann offenbar die Schar der Kraftlinien. Natürlich ist das sehr zeitraubend, und es fragt sich, wie man es beschleunigen könne. Da liegt nun der Gedanke nahe, eine ganze Anzahl Nadeln gleichzeitig zu benutzen; und wenn man überdies zu immer kleineren Nadeln übergeht, kommt man ganz von selbst auf die Idee, Eisenfeilicht zu benutzen. Freilich muß man sich nun im wesentlichen auf einen ebenen, und zwar horizontalen Schnitt des Feldes beschränken; aber das muß man ja bei den theoretischen Zeichnungen auch tun, und aus einer geeigneten Anzahl von Schnitten kann man schließlich die volle Kenntnis des räumlichen Feldes gewinnen. Man bringt also in das Feld eine Glasplatte oder ein Kartenblatt, streut das Pulver auf und hilft durch leichtes Klopfen über die Trägheit der Teilchen hinweg; diese ordnen sich dann annähernd in den magnetischen Kraftlinien an — annähernd, weil durch die gegenseitige Wirkung der Teilchen aufeinander das Feld modifiziert wird, sowie infolge anderer Fehlerquellen. Die Niveaulinien freilich kann man nicht erhalten, man muß sie durch senkrechte Kreuzung der Kraftlinien zeichnerisch hinzufügen. In den Figuren 14, 15 und 16 sind die drei einfachsten Fälle wiedergegeben: der eines einzigen Pols, der zweier gleichartigen Pole und der zweier entgegengesetzter Pole; an Stelle des letzten Falles

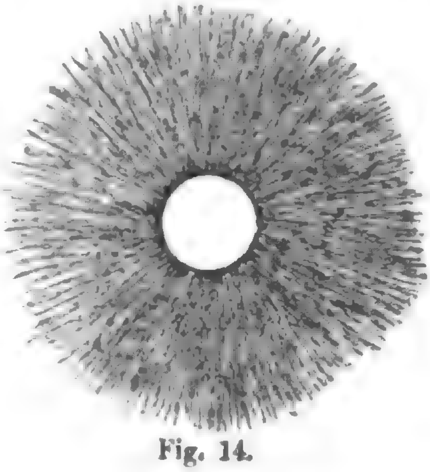


Fig. 14.

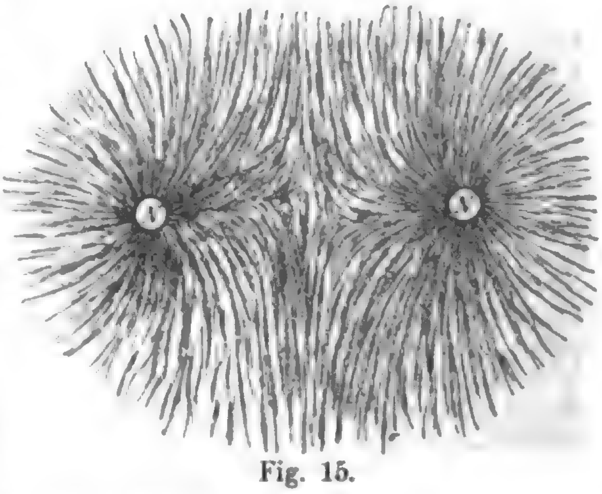


Fig. 15.

ist übrigens der von ihm nicht sehr abweichende Fall eines Stabmagneten gewählt, der

Digitized by Google

an den Enden zwei entgegengesetzte Pole hat. Von den theoretischen Bildern der Figuren 12 und 13 unterscheiden sich die der Figuren 15 und 16 dadurch, daß die beiden

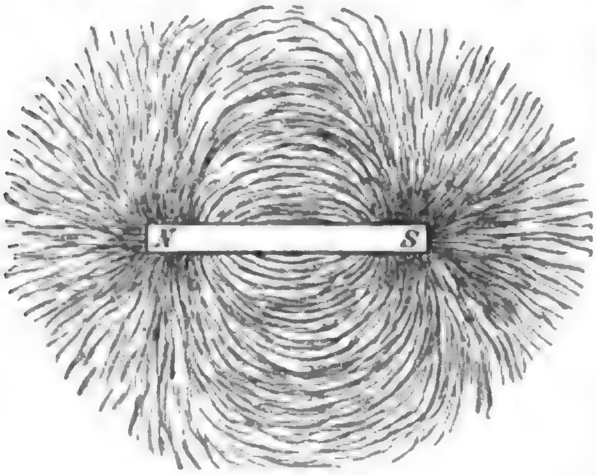


Fig. 16.

Pole dort ungleich, hier gleich stark gewählt sind, wodurch hier das Bild auch in bezug auf die quere Mittellinie symmetrisch wird; hiervon abgesehen kann man leicht die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Experiment feststellen.

7. **Andere Felder.** Ein weiteres, in seiner Art interessantes Feld ist das der elektrischen Strömung. In einem Drahte fällt das, was wir mehr oder weniger bildlich die elektrische Strömung nennen, mit dem Drahte zusammen; wie aber gestaltet sich die Sache, wenn der Strom aus einem solchen Drahte in einen leitenden Raum oder, wie wir der Einfachheit halber annehmen wollen, in eine leitende Fläche, z. B. ein dünnes Metallblech tritt? Von vornherein wird man vermuten müssen, daß sich hier ein unendliches Netz von Verzweigungen ergibt, indem auf die erste Verzweigung an der Eintrittsstelle sofort weitere Verzweigungen jedes der entstandenen Zweige folgen usw. Die Theorie zeigt aber, daß man eine so verwickelte Vorstellung nicht anzuwenden braucht, daß man vielmehr mit der einfacheren auskommt, es finde nur an der Quelle Verzweigung statt, und die so entstandenen Zweigströme liefen nebeneinander her, als ob sie durch dünne Fäden aus isolierendem Material getrennt wären, bis sie schließlich in der Senke wieder zusammentreffen. Die Kraftlinien fallen hier, wenigstens bei geeigneter Anordnung, mit den Stromlinien zusammen, und es kommt darauf an, diese und die auf ihnen senkrechten Niveaulinien, d. h. die Linien gleichen Strömungspotentials, zu ermitteln. Das kann nun, da die Eigenschaften des Strömungspotentials denen des elektrostatischen sehr ähnlich und jedenfalls genau bekannt sind, durch Rechnung geschehen; es gibt aber auch experimentelle Hilfsmittel, und diese sind von neuem Interesse, da sie zur Abwechselung einmal nicht die Kraftlinien, sondern die Niveaulinien liefern. Als Beispiel sei der Fall der Figur 17 gewählt, also

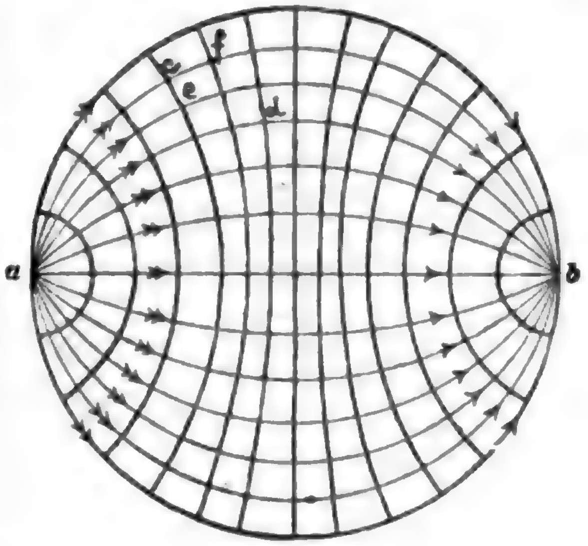


Fig. 17.

der einer stromdurchflossenen Kreisscheibe, mit a als Quelle, b als Senke; die mit Pfeilen versehenen Linien sind die Stromlinien, die darauf senkrechten die Niveaulinien, hier also die Linien gleicher Spannung. Diese letzteren nun kann man, wenn auch etwas mühselig, so doch sehr exakt, auf folgende Weise ermitteln. Man hält das eine Ende des Spulendrahtes eines Stromzeigers, das man gut zugespitzt hat, an irgendeinen Punkt c der Scheibe, hält das andere Ende an irgendeinen Punkt d und verschiebt es, unter Festhaltung des ersten Endes, so lange, bis der angezeigte Strom null geworden ist; ist das etwa in e der Fall, so ist man sicher, daß c und e auf derselben Niveaulinie liegen, von der man sich auf die gleiche Art beliebig viele weitere Punkte verschaffen kann; ebenso kann man dann das erste Ende auf f legen und mit dem anderen Ende eine zweite Niveaulinie abtasten usw. Unmittelbarer, aber vorsichtiger zu deuten, ist die elektrochemische Methode, bei der man die Scheibe in einen Trog mit elektrolytischer Flüssigkeit legt und auf ihr ein farbiges Kurvensystem erhält, das in gewissen Fällen wenigstens annähernd die Schar der Niveaulinien veranschaulicht.

So interessant nun aber auch die bisher betrachteten Felder sein mögen, es fehlt der Reihe noch das letzte und merkwürdigste Glied: das elektromagnetische Feld. Ein Strom erzeugt nämlich in seiner Umgebung ein magnetisches Feld, und zwar ein von dem elektrischen oder magnetischen prinzipiell verschiedenes. Man weiß, daß der Strom einen Magnetpol weder anzieht noch abstößt, sondern seitlich ablenkt; und

Digitized by Google

wenn er diese Ablenkung in der neuen Lage des Poles und dann immer von neuem wiederholt, entsteht offenbar das Phänomen, daß der Pol um den Strom herum kreist. Die Kraftlinien werden also ebenfalls Kreise sein, das Feld ist vom Charakter eines Wirbelfeldes. Das wird durch die Feilichtmethode vollauf bestätigt. Steckt man durch eine Glasplatte vermittels eines kleinen Loches einen stromdurchflossenen Draht und streut auf die horizontal gehaltene Platte Eisenpulver, so erhält man das Bild der Figur 18, also nicht, wie um einen Magnetpol herum, radiale Anordnung (vgl. Fig. 14), sondern periphere. Dem

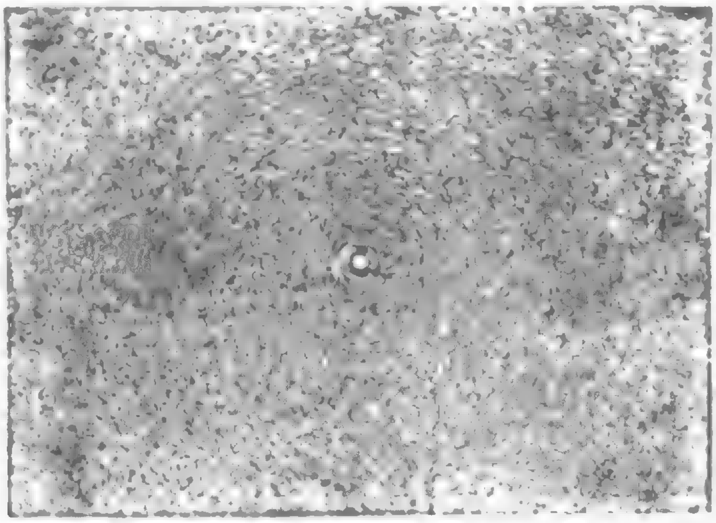


Fig. 18.

entsprechend ist auch das elektromagnetische Potential ganz anderen Gesetzen wie das Newtonsche oder Coulombsche unterworfen, es ist kein Potential im engeren, sondern eines im weiteren Sinne des Wortes. Und dasselbe gilt von dem ihm in mancher Hinsicht verwandten elektrodynamischen Potential, maßgebend für die Wirkung zweier Ströme aufeinander sowie für die Erscheinungen der induzierten Ströme. Und gerade im Gebiete dieser Induktionserscheinungen, die ja die Grundlage der Elektrotechnik bilden, hat sich die Methode der Kraftlinien außerordentlich bewährt: überall kommt es im wesentlichen darauf an, zu ermitteln, wieviel Kraftlinien z. B. durch eine Stromschleife hindurchtreten, wie sich diese Anzahl bei Orts- oder Strom-Aenderung der Schleife ändert usw.; es muß aber an dieser Andeutung genügen.

Schließlich ist der Begriff des Potentials noch mannigfacher Erweiterung fähig. Zwei solche Potentiale müssen noch kurz erwähnt werden. Das eine ist das elastische Potential, genauer Potential der elastischen Kräfte. Es ist viel komplizierter als das gewöhnliche Potential, und zwar deshalb, weil es hier nicht bloß drei Kraftkomponenten, sondern sechs gibt, nämlich die drei normalen Druck- oder Zugkomponenten und die drei tangentialen Scherungskomponenten. Es muß daher das Potential hier so gebildet werden, daß seine sechs Differentialquotienten nach den betreffenden Richtungen die sechs Kraftkomponenten liefern. Immerhin wird durch die Einführung des Potentials die Mannigfaltigkeit der elastischen Erscheinungen beträchtlich vereinfacht, und es zeigt sich das u. a. in der Zahl der für die verschiedenen Stoffklassen charakteristischen Elastizitätskonstanten; so würde ein Körper ohne alle Symmetrieeigenschaften, d. h. ein trikliner Kristall, 36 Konstanten haben, deren Zahl sich infolge der Existenz des Potentials auf 21 reduziert, bei einem monoklinen von 21 auf 13, und schließlich bei einem isotropen von 3 auf 2 (z. B. Dehnungsmodul und Querkontraktion, oder Volumen- und Gestalt-Modul).

Das andere der gedachten Potentiale ist das Wellenpotential, das, insofern die betreffende Wellenbewegung sich in dem Phänomen der Strahlung offenbart, zum Strahlungspotential führt. Hier haben wir es mit Strahlungsfeldern zu tun, die sich den Strömungs- und den Wirbel-Feldern als drittes zur Seite stellen. In der Optik hat man diesem Potential den besonderen Namen Luminal gegeben; es hat begreiflicherweise wieder besondere Eigenschaften, auf die aber nicht eingegangen werden kann.

Schließlich ist noch eine Bemerkung hinzuzufügen. Das bisher betrachtete Potential ist diejenige Größe, die durch ihr Gefälle die Feldstärke liefert, d. h. die Kraft auf einen passiven Einheitspol. Im allgemeinen hat man es in der Natur mit dem komplizierteren Falle zu tun, daß zwei Körper oder Felder aufeinander wirken, von denen jedes eine beliebige Stärke und Konfiguration haben kann. Alsdann hängt alles von einer Größe ab, die auch ein Potential ist, die man aber der Deutlichkeit halber besser als das gegenseitige oder Wechselwirkungs-Potential bezeichnet. Es läßt sich rechnerisch aus dem einfachen Potential ableiten, hat aber seine eigenen Gesetze und Eigenschaften.

8. Geschwindigkeitspotential. Die Potentiale, von denen bisher die Rede war, waren sämtlich Potentiale von Kräften, sei es nun von Zentralkräften (vom anziehenden oder abstoßenden Typ), sei es von ablenkenden

Digitized by Google

Kräften (vom Wirbeltyp), sei es von periodischen Kräften (vom Wellentyp). Kräfte sind, wie eingangs betont, das Korrelat zu Wirkungen, und in der Mechanik speziell zu Beschleunigungen; in diesem Sinne kann man das Kraftpotential auch als **Beschleunigungspotential** bezeichnen. Es liegt nun gar kein Grund vor, mit dem einfacheren Begriffe der Geschwindigkeit nicht ebenso zu verfahren und zu fragen, ob es nicht möglich ist, auch diesen Vektor auf einen Skalar zurückzuführen; auf einen Skalar, den man natürlich ganz entsprechend zu definieren hätte, nämlich als diejenige Größe, deren Gefälle in den drei Koordinatenrichtungen die Komponenten der Geschwindigkeit, und deren Gefälle in der Richtung stärksten Gefälles die Geschwindigkeit selbst ergibt. Man nennt diesen Skalar das **Geschwindigkeitspotential**. Zwischen dem Kraftpotential und dem Geschwindigkeitspotential muß man scharf unterscheiden, wenn man den Charakter von Naturerscheinungen klar erkennen will. Es soll das hier nur an einem Punkte erläutert werden, der besonders wichtig erscheint. Ein Kräftepotential existiert, wie gesagt, stets, wenn nur alle bei dem Phänomen mitspielenden Vorgänge in den Kreis der Betrachtung einbezogen werden. Dagegen existiert ein Geschwindigkeitspotential durchaus nicht immer, nämlich dann nicht, wenn es in dem System elementare Wirbel gibt, wie sie namentlich von den Bewegungen der Flüssigkeiten und Gase her als Strudel, Wirbel, Wasserhosen und Zyklone allgemein bekannt sind, und wie sie, in bildlicher Abstraktion, auch in andere Gebiete, namentlich in das des Magnetismus, hinübergenommen werden. Es ist das sehr merkwürdig (kann aber hier nicht weiter verfolgt werden), daß, obgleich das herrschende Kräftepotential vom normalen Charakter ist, doch kein Geschwindigkeitspotential existiert, sondern Wirbel vorhanden sind. Man unterscheidet daher zwischen **Potentialbewegung** und **Wirbelbewegung**, wobei das Wort „Potentialbewegung" nur eine Abkürzung für „Bewegung mit Existenz eines Geschwindigkeitspotentials" ist. Bei den elastisch-festen Körpern sind z. B. Längsschwingungen Potentialbewegungen, Drillungsschwingungen dagegen Wirbelbewegungen; und ebenso gehören die elektrischen Strömungen in die erste, der Magnetismus in die zweite Klasse. Bei den elastischen Körpern kann man den Gegensatz schließlich auch auf die Erscheinungen des Gleichgewichts ausdehnen und von Potentialdeformationen einerseits, von Wirbeldeformationen andererseits sprechen.

9. Eigenschaften des Potentials. Wir kehren nun zum eigentlichen Potential zurück und müssen wenigstens kurz seine Eigenschaften zusammenstellen, wobei sich die mathematische Formulierung nicht ganz vermeiden läßt. Das Potential in irgendeinem Punkte eines unipolaren Feldes ist $V=m/r$, wo m die Ergiebigkeit des Poles und r die Entfernung des „Aufpunktes" (auf den sich V bezieht) von dem Pole ist. Für ein multipolares Feld wird entsprechend $V=\Sigma(m/r)$ und für das Feld, das von ausgedehnten Körpern herrührt: $V=\int(dm/r)$. Das Potential eines punktförmigen Poles wird unendlich, wenn der Aufpunkt in den Pol hineinrückt; das Potential einer Linie wird in ihr selbst ebenfalls unendlich, aber nur vom logarithmischen Grade; das Potential einer Fläche bleibt in ihr selbst sogar endlich. Dagegen wird im letzteren Falle der Differentialquotient unstetig, er macht beim Durchgange durch die Fläche einen Sprung um $4\pi d$, wo d die Quellendichte an der Durchgangsstelle ist; eine Tatsache, die übrigens nur eine formale Bedeutung hat, daher rührend, daß sich der Sinn der Kraft umkehrt, indem sie nämlich sowohl vorher wie nachher nach der Fläche hin (oder beide Male von ihr weg) gerichtet ist. Was endlich das Potential einer räumlichen Quelle angeht, so bleibt es auch in diesem Raume selbst endlich und auch seine Differentialquotienten bleiben stetig, dagegen erfahren die zweiten Differentialquotienten Sprünge, und für ihre Summe, die man mit ΔV bezeichnet, beträgt der Sprung gerade -4π; im äußeren Raume gilt nämlich die **Laplacesche Gleichung** $\Delta V=0$, im Inneren dagegen die **Poissonsche Gleichung** $\Delta V=-4\pi d$; eine Unstetigkeit, die ganz natürlich erscheint, wenn man bedenkt, daß auch die Quellensubstanz selbst, sei es nun Materie oder Elektrizität oder Magnetismus, an der Grenze unstetig wird (nämlich plötzlich da ist). Man kann in diesem Sinne die **Poissonsche** Gleichung geradezu als Definition der betreffenden Substanz, charakterisiert durch ihre Dichte, ansehen und schreiben: $d=-\Delta V/4\pi$ (das negative Zeichen besagt nur, daß es sich um das Gefälle, nicht um den Zuwachs, handelt). Uebrigens kommt dem Ausdruck ΔV eine recht anschauliche Bedeutung zu, es ist nämlich der Ueberschuß des Potentialwertes an der betreffenden Stelle über den Durchschnitt aller Werte in der Umgebung; im Falle der **Laplaceschen** Gleichung ist dieser Ueberschuß null, und das besagt: im freien Felde hat das Potential nirgend Maxima und Minima; im Falle der **Poissonschen** Gleichung ist der Ueberschuß von null verschieden, und dadurch bestimmt sich die Dichte, mit der das Substrat im Felde verteilt ist. Man sieht, wie sich durch diese Betrachtung der Gegensatz zwischen Kraft und Stoff, zwischen Potential und Substrat-

Digitized by Google

dichte, also sozusagen zwischen dem aktiven und dem passiven Faktor in der Natur, verwischt; es sind das nur noch die beiden Seiten, von denen man die Verhältnisse betrachten kann.

Noch anschaulicher wird der Sinn von ΔV, wenn man diesen Ausdruck, was in sehr einfacher Weise geschehen kann, in den ihm völlig äquivalenten Ausdruck $\int(\partial V/\partial n)ds$ umformt, wo ds das Oberflächenelement eines geschlossenen Raumes im Felde, $(\partial V/\partial n)$ aber das Gefälle des Potentials in der Richtung nach der inneren Normale bedeutet. Dieses Integral stellt aber offenbar die algebraische Summe aller Ein- und Ausströmung von Kraft in dem betreffenden Raume dar (Fig. 19); befindet sich in dem Raume weder eine Quelle noch eine Senke, so ist jene Summe notwendig null, es strömt ebensoviel Kraft ein wie auf der anderen Seite

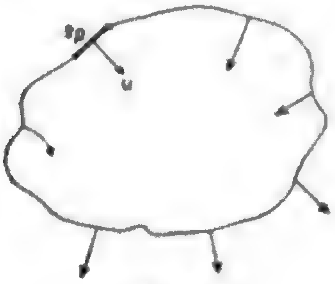


Fig. 19.

wieder hinaus; ist die Summe von null verschieden, so liefert ihr Wert einen Maßstab für die Ergiebigkeit der in dem Raume vorhandenen Quellen und Senken. Das Potential führt auch hier wieder, wie man sieht, unmittelbar zum Bilde der Kraftströmung durch das Feld.

10. Beispiele von Potentialen. Die uns schon bekannte Formel $V = m/r$ gilt nicht bloß für einen punktförmigen Pol, sondern auch für eine homogene Kugelschale oder Vollkugel, solange der Aufpunkt im äußeren Raume liegt; man hat also den Satz: eine Kugel wirkt so, als ob ihre ganze Masse (Ladung usw.) im Mittelpunkte vereinigt wäre. Das ist z. B. der Grund, warum die Schwerkraft bei der Erhebung über die Erdoberfläche nicht wesentlich abnimmt, solange diese Erhebung klein gegen den Erdradius ist. Dagegen hat im inneren Hohlraume der Kugelschale das Potential für alle Punkte den gleichen Wert, die Kraft ist also null, es ist hier gewissermaßen gar kein Feld vorhanden; man kann in diesem Sinne von einer „Schirmwirkung" einer Kugelschale (und ähnlicher geschlossener Flächen) reden. Das Potential einer Kreisscheibe verhält sich, wenn das wirksame Substrat gleichförmig auf ihr verteilt ist, sehr kompliziert; einfacher und interessanter ist hier der Fall, daß das Substrat elektrische Ladung ist, in der Verteilung, die sie von selbst annimmt, wenn sie sich frei ausbreiten kann, und die von der Mitte nach dem Rande hin an Dichte stark zunimmt: hier sind die Niveaulinien, wie Figur 20 ver-

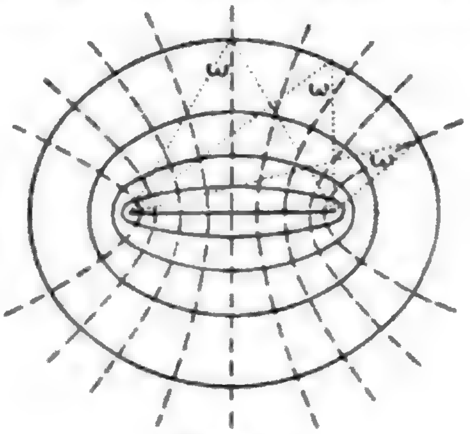


Fig. 20.

anschaulicht, Ellipsen, die Kraftlinien Hyperbeln. Ganz abweichend vom Newtonschen Potential verhält sich das magnetische, weil es sich hier nicht um eine, wenn auch irgendwie zusammengesetzte Quelle, sondern schon im einfachsten Falle um zwei gleich starke Pole handelt, von denen der eine Quelle, der andere Senke ist: Polpaar oder idealer Magnet. Infolgedessen erhält das magnetische Potential zwei ganz neue Eigenschaften: erstens hängt es von der Richtung ab ab, in der sich der Aufpunkt befindet, es ist nämlich am größten in der Richtung der Achse, am kleinsten, und zwar null, in der darauf senkrechten Richtung (hier heben sich die beiden Polwirkungen gerade auf); und zweitens nimmt es, hiervon abgesehen, nicht mit dem Quadrat, sondern mit dem Kubus der wachsenden Entfernung ab, in Formel, wenn x die Achsenkoordinate ist: $V = mx/r^3$. Sehr merkwürdig ist das Potential einer einfachen Magnetschale, d. h. eines Eisenbleches, dessen eine Oberfläche positiv, dessen andere negativ ist. Es ist nämlich gleich der Stärke m der Schale multipliziert mit ihrer scheinbaren Größe, wie sie vom Aufpunkte aus erscheint; für Punkte in der Ebene des Randes ist also das Potential null, für eine geschlossene Schale im äußeren Raume null, im inneren Hohlraume $4\pi m$. Noch verwickelter werden die Formeln für das elektromagnetische, elektrodynamische und Wellenpotential.

11. Arbeit und Energie. Wie man weiß, ist es unumgänglich notwendig, alle Naturerscheinungen dadurch real zu erfassen, daß man sie mit dem Begriff der Arbeit in Beziehung setzt. Arbeit aber ist das Produkt der Kraft in die von ihr hervorgerufene Wirkung, gemessen in der Mechanik durch die in

Digitized by Google

der Kraftrichtung zurückgelegte Strecke l (also bei freier Bewegung durch die Strecke selbst), auf anderen Gebieten durch Größen, die man historisch auf dem Wege der Uebertragung des mechanischen Bildes gewonnen hat, in jedem Falle aber nachprüfen muß; beim elektrischen Strom z. B. ist es die von der elektromotorischen Kraft durch den Querschnitt getriebene Elektrizitätsmenge e. Man erhält somit für die mechanische Arbeit den Ausdruck $A = \int K dl$, für die elektrische $A = \int e de$; weiter für die magnetische Arbeit, wenn F die Feldstärke und b der induzierte Magnetismus ist: $A = \int F db$. In dem besonderen Falle, daß sich die Kraft während ihrer Wirkungsdauer an Größe nicht ändert, wird einfacher: $A = Kl = ee = Fb$ (statt b schreibt man gewöhnlich $B/4\pi$, wo B die „Induktion" ist). Die geleistete Arbeit findet sich natürlich als Feldenergie, einschließlich der Energie der im Felde befindlichen Massen oder Pole, wieder, sie wird daher ebenfalls durch die obigen Formeln dargestellt. Und das wird unmittelbar klar, wenn man das Potential einführt, dessen Gefälle doch die Kraft ist; es wird alsdann $A = \int (\partial V/\partial l) dl$, also einfach $A = V$: das Potential ist eben die potentielle Energie und somit, solange keine Bewegungen im Felde auftreten und folglich keine kinetische Energie existiert, die Energie selbst. Die Integralformeln gelten allgemein, die ausgeführten nur für konstante Kraft. Am wichtigsten ist nun aber gerade die Vorstellung, daß das Feld erst aus nichts erzeugt wird, eben durch die besagte Aufwendung von Arbeit. Erfolgt dieser Prozeß gleichförmig, so kann man als Ergebnis den Mittelwert aus Anfangs- und Endzustand annehmen, also, da der Anfangszustand dem Nullwert der Energie des Feldes entspricht, gerade die Hälfte der obigen Dauerwerte. Somit erhält man als Energie des mechanischen Feldes $\frac{1}{2} Kl$, des elektrischen $\frac{1}{2} ee$, des magnetischen $\frac{1}{2} Fb$ oder $\left(\frac{1}{8\pi}\right) FB$. Auf die hieraus zu ziehenden Schlüsse einzugehen muß verzichtet werden.

Die Energie ist eine Größe, die man nach dem Muster der Masse lokalisieren kann; jedes Stück des Feldes hat einen bestimmten Energieinhalt, und die obige magnetische Formel z. B. gilt für 1 ccm. Eine andere, sehr weitschichtige Frage ist es, ob man der Feldenergie einen bestimmten Träger zuweisen solle auch dann, wenn es sich nicht um wägbare Massen handelt. In dieser Hinsicht ist zur Zeit alles im Fluß, der Aether, der hier doch vorzüglich in Betracht kommt, wird von mancher Seite als überwundener Standpunkt erklärt; die Elektronentheorie entwickelt ihre eigenen Vorstellungen, und die beiden neuesten Theorien, das Relativitätsprinzip auf der einen Seite, die Quantentheorie auf der anderen, sind im Begriff, auch in der Frage der Konstitution der Feldenergien eine völlige Umwälzung hervorzurufen.

Treten in dem Felde Prozesse auf, so ändert sich natürlich auch die Konfiguration der Energie, es findet „Energiewanderung" statt; und die letzte Frage, die uns zu beschäftigen hat, ist diese: In welcher Weise wandert die Energie? Wie verhalten sich die „Energielinien" zu den Niveaulinien und Kraftlinien? Die allgemeine Antwort hierauf kann an dieser Stelle nicht gegeben werden; aber für gewisse, und zwar gerade für einfache typische Fälle wird die Antwort sehr einfach. Dabei wollen wir zur Vermeidung räumlicher Komplikationen uns an den Fall des elektromagnetischen Feldes halten, in dem, wie erwähnt wurde, die magnetischen Kraftlinien auf den elektrischen senkrecht stehen, so daß man sie an Stelle der elektrischen Niveaulinien einführen kann. Man gelangt dann zu dem sehr merkwürdigen Satze, daß die elektrischen Kraftlinien, die magnetischen Kraftlinien und die Energielinien die drei im Raume aufeinander senkrechten Richtungen repräsentieren. Hat man z. B. einen geradlinigen elektrischen Strom, so sind die elektrischen Kraftlinien die Drahtlinie selbst und die zu ihr parallelen Geraden, die magnetischen Kraftlinien sind die Kreise um den Draht herum (vgl. Fig. 18); also bleiben für die Energielinien diejenigen Linien übrig, die auf beiden vorgenannten senkrecht stehen: die Radien der magnetischen Wirbel, und zwar von außen nach innen genommen. Die Energie des Feldes wird von dem Stromleiter angezogen und verschwindet in ihm, indem sie sich daselbst in Wärme verwandelt. Eine genauere Erörterung dieses, hier nur schematisch angedeuteten Bildes muß jedoch unterbleiben.

Literatur. ***Dirichlet,*** *Vorlesungen über die im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung abnehmenden Kräfte, neue Auflage. Leipzig 1887.* — ***B. Riemann,*** *Schwere, Elektrizität und Magnetismus. Neue Aufl. Hannover 1880.* — ***R. Clausius,*** *Die Potentialfunktion und das Potential. 4. Aufl. Leipzig 1885.* — ***E. Betti,*** *Die Potentialtheorie und ihre Anwendungen. Stuttgart 1885.* — ***H. Poincaré,*** *Théorie du potentiel newtonien. Paris 1899.* — ***M. Bacharach,*** *Abriss der Geschichte der Potentialtheorie. Göttingen 1883.* — ***Cl. Maxwell,*** *Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Berlin 1883.* — ***H. Ebert,*** *Magnetische Kraftfelder. 2. Aufl. Leipzig 1905.* — ***G. Mie,*** *Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Stuttgart 1910.* — ***F. Auerbach,*** *Kanon der Physik. Leipzig 1899.* — ***Derselbe,*** *Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. 3. Aufl. Leipzig 1905.*

F. Auerbach.

Digitized by Google

Potential.

Elektrochemisches Potential.[1])

1. Allgemeines, elektrische Doppelschicht. 2. Potential an angreifbaren Elektroden: a) elektrolytischer Lösungsdruck, Nernstsche Formel. b) Oberflächenbeschaffenheit der Elektrode, Oberbecksche Schichtdicken, c) Legierungen. d) Einfluß der Ionenkonzentration, anormale Spannungen. 3. Potential an unangreifbaren Elektroden: a) Gaselektroden. b) Reduktions- und Oxydationspotentiale. Anhang. Potentiale in Schmelzflüssen und in nichtwässerigen Lösungsmitteln. 4. Bestimmung der Einzelpotentiale: a) Spannungsmessung. Potentialvermittler, b) Ermittelung der Einzelspannung: α) Eliminierung der Flüssigkeitspotentiale. β) Absoluter Nullpunkt. Tropfelektrode. γ) Normalelektroden, Nullpunkt des Potentials. 5. Elektrochemische Spannungsreihen: a) Begriff des Normalpotentials, Umrechnung auf andere Konzentrationen. b) Spannungsreihen: α) Metalle. β) Nichtmetalle. γ) Ionen variabler Valenz (und einige Oxydationsvorgänge).

1. Allgemeines; elektrische Doppelschicht. Es wird außerordentlich häufig beobachtet, daß an der Berührungsfläche zweier chemisch verschiedener Stoffe eine sprungweise Aenderung des elektrischen Potentials auftritt (vgl. die Artikel „Elektrizität", „Elektromotorische Kraft"). Das Zustandekommen einer derartigen Potentialdifferenz kann man sich etwa folgendermaßen denken: Wir müssen annehmen, daß bei der Berührung irgend eine Kraft, die elektromotorische Kraft wirksam wird, die elektrische Ladungseinheiten aus dem einen Stoff in den anderen hineintreibt. Die beiden Stoffe erhalten eine entgegengesetzte elektrische Ladung. Diesem primären Vorgang wirkt entgegen die alsbald auftretende elektrostatische Anziehung. Sind die sich berührenden Stoffe Isolatoren, oder verhindert man durch Isolation des ganzen Systems ein freies Abströmen der Ladungen, so muß es alsbald zu einem Gleichgewichtszustand kommen, in dem sich elektromotorische Kraft und elektrostatische Anziehung die Wage halten. Diesem Gleichgewichtszustand wird natürlich bei bestimmten Bedingungen eine ganz bestimmte Potentialdifferenz der beiden Stoffe entsprechen. Da an der Berührungsfläche ihr Abstand nur sehr klein ist, so muß dort die Flächendichte der elektrischen Ladungen eine sehr viel größere sein, als an anderen Stellen der Oberfläche. Die Berührungsfläche ist aufzufassen als ein Kondensator von außerordentlich geringer Dicke (etwa 0,4 bis $0{,}8 \cdot 10^{-7}$ cm) der isolierenden Schicht. Sie bildet eine elektrische Doppelschicht (Helmholtz) (vgl. auch die Artikel „Elektrizität", „Elektrokapillarität"). Bei der Anwendung dieser allgemeinen Ueberlegungen auf spezielle Fälle handelt es sich in erster Linie darum, zu bestimmten Vorstellungen über die elektromotorische Kraft, als die primäre Ursache des ganzen Vorganges, zu gelangen.

Es sollen hier nur die Fälle behandelt werden, wo der eine der beiden sich berührenden Stoffe metallische Leitfähigkeit besitzt und der andere ein Leiter zweiter Klasse ist (in den allermeisten Fällen eine wässerige Lösung). Man unterscheidet die beiden Stoffe als Elektrode und Elektrolyt. Nur in diesen Fällen ist es bisher gelungen, die elektromotorische Kraft in Beziehung zu setzen zu bestimmten chemischen Vorgängen, nur hier pflegt man von einem elektrochemischen Potential im speziellen Sinn zu sprechen. Ueber Potentiale an der Berührungsfläche zweier verschieden zusammengesetzter Elektrolyte vgl. den Artikel „Galvanische Ketten", zweier metallischer Leiter den Artikel „Thermoelektrizität", über durch Adsorptionsvorgänge erzeugte Potentialdifferenzen den Artikel „Disperse Systeme".

2. Potential an angreifbaren Elektroden. 2a) Elektrolytischer Lösungsdruck. Nernstsche Formel. Die Theorie des elektrochemischen Potentiales zunächst für den Fall einer Elektrode aus unedlem Metall, z. B. Zink, die in Wasser oder eine wässerige Lösung eintaucht, hat Nernst gegeben.

Wir beobachten in vielen Fällen, daß Zink in Berührung mit wässerigen Lösungen, z. B. Säuren, aufgelöst wird. Wir können daher dem Zink ganz allgemein die Tendenz zuschreiben, in Lösung zu gehen, und wir können uns ferner diese Tendenz denken als eine Druckkraft von bestimmter Größe, ganz ebenso, wie wir uns das Inlösunggehen von Zucker bei der Berührung mit Wasser bewirkt denken durch eine nach Art einer Druckkraft wirkende Lösungstension des Zuckers. Beim Zink besteht nur der Unterschied, daß es als Kation, also verbunden mit positiven Ladungen, in Lösung geht; elektrische Vorgänge sind notwendigerweise damit verknüpft, man spricht von einem elektrolytischen Lösungsdruck des Zinks. Positive Zinkionen gehen also in Lösung, die Zinkelektrode selbst muß negativ geladen zurückbleiben. Verhindert man das Abströmen der Ladungen, so muß sich in der oben angedeuteten Weise eine elektrische Doppelschicht mit bestimmtem Potentialsprung herausbilden. Wegen des hohen Wertes der Einzelladung eines Zinkatoms wird im allgemeinen das Gleich-

[1]) Ueber chemisches, thermodynamisches Potential vgl. den Artikel „Thermochemie".

Digitized by Google

gewichtspotential schon erreicht sein, wenn analytisch noch nicht nachweisbare Mengen Zink in Lösung gegangen sind.

Der Wert der Potentialdifferenz an der Doppelschicht wird natürlich einmal um so größer sein, je größer der elektrolytische Lösungsdruck des betreffenden Metalls ist, er wird aber auch zweitens abhängen von der Zusammensetzung des Elektrolyten. Befinden sich nämlich in diesem schon Ionen des betreffenden Metalls, so wird der von ihnen ausgeübte osmotische Druck dem Lösungsdruck entgegen wirken, ebenso wie wir uns denken, daß der osmotische Druck gelöster Zuckermoleküle dem Lösungsdruck des Zuckers entgegenwirkt, und die Potentialdifferenz wird um so kleiner sein, je größer der osmotische Druck der Ionen ist.

Eine Formel für die quantitative Abhängigkeit des Potentials vom osmotischen Druck liefert folgende Ueberlegung. Wenn eine derartige angreifbare Metallelektrode in einem galvanischen Element arbeitet, so ist der eigentliche stromliefernde Vorgang die Auflösung des Metalls. Im Sinne unserer Grundanschauungen geht dabei das Metall aus einem Zustand, in dem es unter dem Druck P gleich dem elektrolytischen Lösungsdruck steht, über in einen Zustand, wo es sich unter dem Druck p gleich dem osmotischen Druck der betreffenden Metallionen befindet. Unter der Voraussetzung, daß der Vorgang isotherm und reservibel verläuft, und nur für solche Vorgänge sollen diese ganzen Auseinandersetzungen gelten, läßt sich die dabei geleistete Arbeit vollständig als elektrische Energie gewinnen (vgl. den Artikel „Galvanische Ketten"). Machen wir dann ferner noch die Voraussetzung, daß p so klein ist, daß die einfachen Gasgesetze gelten, so ergibt sich die Arbeit A, die geleistet wird, wenn ein Grammatom in Lösung geht, zu $A = RT \ln \frac{P}{p}$ (vgl. die Artikel „Gase", „Energielehre"). Die gewinnbare elektrische Energie ist gleich dem Produkt aus der Potentialdifferenz ε und der Elektrizitätsmenge, die bei dem Vorgange durch die Doppelschicht hindurch transportiert wird. Diese ist aber gleich der Wertigkeit der gebildeten Ionen n mal der Ladung eines Grammäquivalentes F. Es ergibt sich also $\varepsilon nF = RT \ln \frac{P}{p}$, oder

$$\varepsilon = \frac{RT}{nF} . \ln \frac{P}{p}.$$

Für R ist zu setzen $0{,}8316 . 10^8$ Erg, für F 96 540 Coulomb. Um an Stelle der natürlichen Logarithmen Briggsche zu haben, multipliziert man noch mit 2,303. Man bekommt dann ε in elektromagnetischen Einheiten des CGS-Systems, um ε in Volt zu erhalten, muß man noch mit 10^{-8} multiplizieren. Es ergibt sich $\varepsilon = \frac{0{,}0001983\, T}{n} \log \frac{P}{p}$. Für die Zimmertemperatur $t = 18^0$, wird $T = 291$, $\varepsilon = \frac{0{,}0577}{n} . \log \frac{P}{p}$.

An Stelle von $\frac{P}{p}$ kann man auch $\frac{C}{c}$ setzen, wenn c die Konzentration der Ionen, C die zu dem osmotischen Druck P gehörende Konzentration bedeutet. Die Nernstsche Gleichung hat sich bisher außerordentlich gut bewährt, sie ist für die Theorie des elektrochemischen Potentials von grundlegender Bedeutung.

P bezw. C haben die Bedeutung von nur von der Temperatur abhängigen individuellen Konstanten des betreffenden Metalls, deren absolute Werte wir allerdings noch nicht exakt bestimmen können. Sie sind um so größer, je unedler das betreffende Metall ist.

Ist in einem gegebenen Fall $C > c$, so überwiegt die Ionenbildungstendenz, ε wird positiv, die Flüssigkeit bekommt eine positive Ladung gegenüber der Elektrode bezw. die Elektrode eine negative gegenüber der Flüssigkeit. Ist umgekehrt $C < c$, so überwiegt die Wirkung des osmotischen Drucks, ε wird negativ, die Elektrode erhält eine positive Ladung gegen den Elektrolyten. Wenn im Grenzfall $C = c$ ist, so wird $\varepsilon = 0$. Eine Potentialdifferenz tritt nicht auf.

Wird $p = 0$, so ist $\varepsilon = \infty$, man müßte also beim Eintauchen eines Metalls in eine Lösung, die keine Ionen desselben enthält, außerordentlich große Potentialdifferenzen erhalten. Durch Nebenreaktionen etwa unter Einwirkung des Sauerstoffs der Luft werden aber alsbald so viele Metallionen gebildet, daß wir in Wirklichkeit immer nur relativ kleine Potentiale beobachten.

Eine Bestätigung der Richtigkeit der Nernstschen Grundanschauungen wurde durch Versuche von Palmaer erbracht. Quecksilber ist ein relativ edles Metall, sein elektrolytischer Lösungsdruck also klein. Tropft das Metall in eine Lösung, die Quecksilberionen enthält, so wird schon bei geringen Konzentrationen der Tropfen sich positiv laden, dadurch daß Metallionen sich an ihm entladen. Durch die sich herausbildende Doppelschicht wird eine entsprechende Anzahl der vorhandenen Anionen an der Oberfläche des Tropfens festgehalten werden und sich mit ihm nach unten bewegen. Vereinigt sich der Tropfen mit der am Boden befindlichen Quecksilbermasse, so findet dabei eine Verminderung der Größe der Berührungsfläche Metall-Elektrolyt statt. Da im Gleichgewichtszustand die elektrische Flächendichte der Doppelschicht einen konstanten Wert haben muß, so müssen wieder Quecksilberionen in Lösung gehen. Dafür wird aber auch wieder die

Digitized by Google

entsprechende Anzahl Anionen aus ihrer Bindung in der Doppelschicht befreit. Der ganze Vorgang bewirkt also einen Transport des gelösten Salzes von oben nach unten. Palmaer konnte nachweisen, daß tatsächlich eine Konzentrationsänderung in dem geforderten Sinn auftritt (Näheres siehe im Artikel „Elektrokapillarität“).

Die quantitative Bestätigung der Nernstschen Formel wurde besonders durch Messungen an Konzentrationsketten erbracht, z. B. nach dem Schema

$$\mathrm{Ag}\ \frac{AgNO_3}{\text{konz.}}\ \frac{AgNO_3}{\text{verd.}}\ \mathrm{Ag}.$$

In der Endformel für die Spannung einer derartigen Kette fällt der unbekannte Wert von C heraus, da er ja an beiden Elektroden derselbe ist (vgl. den Artikel „Galvanische Ketten“).

Die Nernstsche Theorie läßt in sehr anschaulicher Weise den Vorgang der Potentialbildung an einer angreifbaren Elektrode verstehen. Sie hat aber gewissermaßen nur formale Bedeutung in dem Sinne, daß die Richtigkeit der abgeleiteten Beziehung zwischen Potential und Ionenkonzentration wie bei allen thermodynamischen sich auf reversible Vorgänge beziehenden Betrachtungen unabhängig von dem sich in Wirklichkeit vollziehenden Reaktionsmechanismus ist. Man neigt z. B. zurzeit vielfach der Ansicht zu, daß die Metallatome einer angreifbaren Elektrode nicht unmittelbar positive Ladungen aufnehmen können, sondern, daß primär Sauerstoff oder andere Oxydationsmittel z. B. Chlor usw. gebildet werden, die dann erst sekundär das Metall angreifen. Haber hat gezeigt, daß man auch in diesem Fall zu der anschaulichen Vorstellung von zwei einander entgegenwirkenden Druckkräften als potentialbestimmenden Ursachen gelangen kann (Ztschr. f. phys. Ch. **78**. 242, 1912).

2b) Abhängigkeit des Potentials von der Oberflächenbeschaffenheit der Elektrode. Oberbecksche Schichtdicken. Das Potential, das eine Elektrode gegen einen Elektrolyten zeigt, wird abhängig sein von dem physikalischen Zustand, in dem sie sich befindet, und zwar kommt es natürlich in erster Linie auf den Zustand der Elektrodenoberfläche an. Man hat in der Tat gefunden, daß bei mechanischer Beanspruchung von Elektroden und bei Belichtung Aenderungen des Potentials auftreten, doch sind diese nur sehr klein. Speziell für Quecksilber ist von des Coudres festgestellt worden, daß es unter hohem mechanischen Druck auch einen erhöhten elektrolytischen Lösungsdruck besitzt. Die experimentell gefundenen Werte stimmen mit den auf Grund einer thermodynamischen Betrachtung berechneten gut überein.

Auf einer verschiedenartigen chemischen Oberflächenbeschaffenheit beruht es aller Wahrscheinlichkeit nach, daß eine Reihe von Metallen je nach der Vorbehandlung ganz verschiedene Potentiale gegen denselben Elektrolyten zeigen. Es sind dies die „passivierbaren“ Metalle: Eisen, Nickel, Kobalt, dann Chrom, Vanadin, Niob, Molybdän, Wolfram, Ruthenium, Thallium u. a. Es scheint, daß adsorbierter Sauerstoff oder Oxydschichten dabei eine wesentliche Rolle spielen (weiteres siehe unter „Passivität“ im Artikel „Elektrochemie“).

Oberbecksche Schichtdicken. Ein mit einer Kupferschicht überzogenes Platinblech wird in einer Kupfersalzlösung das Potential einer reinen Kupferplatte zeigen. Dies gilt aber nur so lange wie die Kupferschicht imstande ist, eine vollständige Abdeckung des Platins zu bewirken. Eine Berechnung der Schichtdicke, bei der dies eben noch der Fall ist, wird einen Schluß erlauben auf die Größe der „molekularen Dimensionen“. A. Oberbeck findet aus Versuchen bei Kupfer, Cadmium und Zink Werte von 0,7 bis $2,7 \cdot 10^{-7}$ cm. Diese Werte sind etwa zehnmal größer als die nach anderen Methoden berechneten. Sie bilden aber eine obere Grenze, da die Schicht nicht, wie man bei der Berechnung annehmen muß, gleichmäßig dick sein wird, und die Abweichungen vom Kupferpotential offenbar schon auftreten werden, wenn die dünnste Stelle zur vollständigen Abdeckung nicht mehr ausreicht.

2c) Potential von Legierungen. Besteht eine Elektrode aus einer Legierung von zwei (oder auch mehreren) Metallen, so ist das Verhalten ein verschiedenes, je nach dem physikalisch-chemischen Aufbau der Legierung. Wir haben bei zwei Metallen drei Fälle zu unterscheiden (für drei und mehr Metalle wären die Betrachtungen sinngemäß zu erweitern).

1. Die beiden Metalle sind nicht miteinander mischbar, sie bilden ein mechanisches Gemenge. Taucht man eine derartige Elektrode in einen Elektrolyten, der Ionen beider Metalle enthält, so wird sich zunächst an jedem Oberflächenelement das dem betreffenden Metall zukommende Potential einstellen. Da dies aber für beide Metalle nur im Grenzfall denselben Wert haben wird, so kann an der Elektrode im allgemeinen kein elektrisches Gleichgewicht bestehen, es müssen Lokalströme auftreten, und die damit verbundenen elektrochemischen Vorgänge werden bewirken, daß Ionen des Metalls mit der niedrigeren Potentialdifferenz zur Abscheidung

Digitized by Google

gelangen, während Ionen des anderen in Lösung gehen. Die dadurch bewirkte Aenderung der Konzentration bezw. des osmotischen Drucks der Ionen hat eine Aenderung beider Potentialdifferenzen zur Folge in dem Sinn, daß sich ihre Werte immer mehr nähern und dies dauert so lange bis die Potentiale für beide Metalle gleich geworden sind. Bedeuten P_1 und P_2 die Lösungsdrucke der Metalle, p_1 und p_2 die Konzentrationen ihrer Ionen, so besteht Gleichheit des Potentials, wenn $\frac{P_1}{p_1} = \frac{P_2}{p_2}$, Gleichheit der Wertigkeit vorausgesetzt. Wenn, wie es häufig der Fall ist, P_1 sehr viel größer ist als P_2, so gehört zu einem mittleren Wert von p_1 nur ein sehr kleiner Wert von p_2. Die ganzen Verhältnisse sind so, als bestände die Elektrode nur aus dem Metall mit dem hohen Lösungsdruck.

2. Besteht die Legierung aus einer festen oder flüssigen Lösung der Metalle, so sind die Verhältnisse ähnlich wie bei 1. Ein Unterschied besteht nur darin, daß die einzelnen Lösungsdrucke nicht die der Metalle in kompaktem Zustand sind, sondern die Drucke sind abhängig von der Konzentration, die die Metalle in der Legierung besitzen. Der Elektrolyt muß auch hier seine Zusammensetzung ändern, bis das Potential beider Metalle denselben Wert hat. Hierher gehören die Zink- und Cadmium-Amalgam-Elektroden, die wegen ihrer Verwendung in den Normalelementen außerordentlich wichtig sind.

3. Bilden die Metalle miteinander eine bestimmte chemische Verbindung, so wird man dieser einen bestimmten individuellen Lösungsdruck zuschreiben müssen. Es werden primär Ionen der entsprechenden Zusammensetzung in Lösung gehen, die sich natürlich nachträglich in Einzelionen spalten können. Für den Wert der Potentialdifferenz ist dann das Produkt aus der Konzentration der beiden Ionenarten maßgebend (s. auch den Artikel „Legierungen").

2d) Einfluß der Ionenkonzentration auf das Potential, anomale Spannungen. Wie oben angeführt, gilt für 18° $\varepsilon = \frac{0{,}0577}{n} \log \frac{C}{c}$. Ein Potential ändert sich also um $\frac{0{,}0577}{n}$ Volt, wenn die Ionenkonzentration zehnmal größer oder kleiner wird. Innerhalb des gebräuchlichen Konzentrationsbereichs ist die Aenderung also nicht sehr groß. Erhebliche Unterschiede treten aber auf, wenn man zu sehr kleinen Konzentrationen übergeht, wie man sie durch Zusatz von Fällungsmitteln oder komplexbildenden Stoffen erhält. Hierauf beruht z. B. die Erscheinung, daß sich in einem Daniellelement die Stromrichtung umkehrt, wenn man zu der Kupfersulfatlösung Cyankalium in genügender Menge hinzufügt. Durch die Komplexbildung wird die Konzentration der Kupferionen so stark herabgedrückt, daß dadurch der gegenüber dem Zink sehr viel kleinere Lösungsdruck des Kupfers überkompensiert wird. Da hierbei scheinbar der elektrochemische Charakter des Kupfers ganz verändert wird, spricht man auch von einer anomalen Spannung. Messungen an derartigen Elektroden geben natürlich die Möglichkeit, die Ionenkonzentration c zu berechnen, und damit auch die Löslichkeit des betreffenden Niederschlages oder den Grad der Komplexbildung. Es ist dies eine wichtige Methode.

3. Elektrochemisches Potential nichtmetallischer Stoffe. Für das Zustandekommen eines elektrochemischen Potentials ist, wie oben erwähnt, das Vorhandensein einer metallische Leitfähigkeit besitzenden Elektrode notwendig. Es können jedoch auch nichtmetallische Stoffe potentialbildend wirken, wenn man sie in Berührung bringt mit einer Elektrode aus einem Material, dessen elektrolytischer Lösungsdruck unter den Versuchsbedingungen praktisch gleich Null ist. Zu solchen unangreifbaren Elektroden verwendet man meist Platin oder auch andere Edelmetalle, Gold, Iridium, Palladium usw. An diesen Elektroden können potentialbildend wirken erstens reduzierende und oxydierende Gase, vor allem Wasserstoff und Sauerstoff, dann Chlor, Kohlenoxyd usw., zweitens in den Elektrolyten gelöste Reduktions- und Oxydationsmittel.

3a) Gaselektroden. Wasserstoff- und Sauerstoffelektrode bilden die zuerst von Grove im Jahre 1839 untersuchte Knallgaskette. Daß diese Gase an einer in einen Elektrolyten tauchenden Platinelektrode elektromotorisch wirksam sind, läßt sich durch die Annahme erklären, daß sich die Gase in der Elektrodenoberfläche lösen und dadurch gewissermaßen metallische Eigenschaften bekommen. Es lassen sich ohne weiteres die Nernstschen Vorstellungen auf diesen Fall übertragen. Die gelösten Gase werden einen bestimmten elektrolytischen Lösungsdruck P besitzen, dem der osmotische Druck p der betreffenden Ionenart entgegenwirkt. Diese Ionenarten sind bei Wasserstoff das H-Ion, bei Sauerstoff O'', bei Chlor Cl' usw. Es gelten die gleichen quantitativen Beziehungen

$$\varepsilon = \frac{0{,}0001983}{n} . T \log \frac{P}{p}.$$

Für $\frac{P}{p}$ kann man in analoger Weise wieder $\frac{C}{c}$ setzen.

Digitized by Google

Die Größe P bezw. C ist natürlich abhängig von der Art des Gases, eventuell auch von dem Material der Elektrode, und dann noch vor allem von der Konzentration des in der Elektrodenoberfläche gelösten Gases. Diese ist abhängig von der Konzentration des Gases in dem Elektrolyten, und diese wieder von der Konzentration und damit vom Partialdruck des Gases im Gasraum.

Die quantitative Abhängigkeit von C von der Konzentration im Gasraum ergibt folgende Betrachtung. Nehmen wir Wasserstoff als Beispiel, so kommt für die elektromotorische Wirksamkeit unmittelbar die Konzentration C_H der einzelnen H-Atome in der Elektrodenoberfläche in Frage. Wir können setzen $C = k_1 . C_H$. Die H-Atome sind aus in der Elektrode gelösten H_2-Molekülen durch Dissoziation entstanden. Nach dem Massenwirkungsgesetz gilt

$$\frac{(C_H)^2}{C_{H_2,\,gelöst}} = k_2$$

$C_{H_2,\,gelöst}$ ist von der Konzentration im Gasraum $C_{H_2,\,gasförmig}$ im Sinne eines Teilungsverhältnisses abhängig. $C_{H_2\,gelöst} = C_{H_2,\,gasf.} . k_3$. Woraus sich ergibt

$$C = k_1 . \sqrt{k_2 . k_3 . C_{H_2,\,gasf.}}\,,$$

oder

$$C = K . \sqrt{C_{H_2,\,gasf.}}$$

Es wird also das Potential der Wasserstoffelektrode

$$\varepsilon = 0{,}0001983\ T \log \frac{K . \sqrt{C_{H_2,\,gasf.}}}{C_H}$$

n ist ja in diesem Fall = 1. Identisch mit dieser Gleichung ist die meistens benutzte

$$\varepsilon = \frac{0{,}0001983}{2} . T \log \frac{K' C_{H_2,\,gasf.}}{(C_H)^2}$$

K' darin = K². Allgemein gilt für die Abhängigkeit des elektrolytischen Lösungsdrucks C eines die Elektrode bespülenden Gases von dessen Konzentration bezw. Partialdruck im Gasraum, daß C proportional mit der νten Wurzel aus dem Gasdruck ansteigt, wenn ein Mol des Gases beim Uebergang in den Ionenzustand ν Ladungen aufnimmt. Zu beachten ist nur, daß die oxydierenden Gase negative Ionen liefern, ε muß das entgegengesetzte Vorzeichen erhalten als das ε von Wasserstoff- oder Metallelektroden.

Da in wässerigen Lösungen die Konzentrationen der H·- und O''-bezw. OH'-Ionen sehr verschiedene Werte annehmen können, je nachdem die Lösungen sauer oder alkalisch reagieren, so sind die Potentiale an einer Wasserstoff- oder Sauerstoffelektrode beträchtlich verschieden, wenn man in saurer oder alkalischer Lösung arbeitet. Der Unterschied beträgt etwa 0.8 Volt.

In wässerigen Lösungen muß immer das Dissoziationsgleichgewicht des Wassers bestehen: $(C_H.)^2 . C_{O''} = k$. Durch eine einfache Ueberlegung läßt sich hieraus ableiten, daß die Spannung einer Knallgaskette, bei der beide Elektroden in dieselbe wässerige Lösung tauchen, immer den gleichen Wert haben muß, unabhängig von der Zusammensetzung des Elektrolyten (vgl. den Artikel „Galvanische Ketten").

Die quantitative Untersuchung der Gaselektroden hat bei Wasserstoff gute Uebereinstimmung mit den theoretischen Forderungen ergeben. Bei Sauerstoff stellt sich ein konstanter Endwert des Potentials erst nach längerer Zeit ein, der gemessene Wert bleibt jedoch immer beträchtlich unter dem Wert, den man auf Grund thermodynamischer Betrachtungen erwarten sollte. Wahrscheinlich bilden sich an der Elektrodenoberfläche Platinoxyde in nicht umkehrbarer Reaktion.

3b) Reduktions- und Oxydationspotentiale. Beschränkt man sich auf wässerige Lösungen, so kann man ganz allgemein ein Reduktionsmittel als einen Stoff ansehen, der imstande ist, direkt oder durch Vermittelung des Wassers Wasserstoff zu entwickeln, während umgekehrt ein Oxydationsmittel Sauerstoff liefert. Eine bei den betreffenden Bedingungen unangreifbare Elektrode wird sich also in der Lösung eines Reduktionsmittels mit Wasserstoff, in der eines Oxydationsmittels mit Sauerstoff beladen. Daß dies tatsächlich geschieht, ist verschiedentlich nachgewiesen worden, z. B. nimmt ein Palladiumblech in reduzierenden Lösungen Wasserstoff auf. Die potentialbildende Wirksamkeit von Reduktions- und Oxydationsmitteln läßt sich also zurückführen auf die Ausbildung von Wasserstoff- bezw. Sauerstoffelektroden. Für den Wert des Potentials gilt wieder die Formel

$$\varepsilon = \frac{0{,}0001983}{n} . T \log \frac{C}{c}.$$

Die Größe von C ist dann natürlich abhängig von den Konzentrationen der an den elektrochemischen Vorgängen beteiligten Stoffe.

Nehmen wir als Beispiel eine Lösung, die Ferro- und Ferriionen in bestimmter Konzentration enthält. Eine derartige Lösung wirkt reduzierend, nach folgender Gleichung:

$$2Fe^{\cdot\cdot} + 2H^{\cdot} \rightleftarrows 2Fe^{\cdot\cdot\cdot} + H_2.$$

Für den Gleichgewichtszustand muß also gelten

Digitized by Google

$$\frac{(C_{F^{\cdot\cdot}})^2 . (C_{H^{\cdot}})^2}{(C_{Fe^{\cdot\cdot}})^2 . C_{H_2}} = k$$

Eine eingetauchte Platinelektrode wird sich mit Wasserstoff beladen, bis sich die Konzentration des in ihr gelösten Wasserstoffs mit der in der Lösung ins Gleichgewicht gesetzt hat, und wir können ohne weiteres die oben gegebene Formel für das Potential einer Wasserstoffelektrode benutzen. Setzen wir in diese den Wert für C_{H_2} ein, so ergibt sich:

$$\varepsilon = 0{,}000\,1983\ T \log \frac{K \sqrt{\frac{(C_{Fe^{\cdot\cdot\cdot}})^2 . (C_{H^{\cdot}})^2}{(C_{Fe^{\cdot\cdot}})^2 . K}}}{C_{H^{\cdot}}}$$

woraus unter Zusammenziehung der Konstanten folgt:

$$\varepsilon = 0{,}000\,1983\ T \log \frac{K' C_{Fe^{\cdot\cdot}}}{C_{Fe^{\cdot\cdot\cdot}}}.$$

Die betrachtete Lösung kann aber auch oxydierend wirken nach dem Schema $4Fe^{\cdot\cdot\cdot} + 2O'' \rightleftarrows 4Fe^{\cdot\cdot} + O_2$. Führt man von diesem Gesichtspunkt aus eine analoge Ueberlegung durch, so ergibt sich

$$\varepsilon = 0{,}000\,1983\ T \log \frac{K'' C_{Fe^{\cdot\cdot}}}{C_{Fe^{\cdot\cdot\cdot}}}.$$

Ein Gleichgewichtszustand ist nur dann möglich, wenn beide Potentiale gleich sind. Das ist der Fall, wenn $K' = \frac{1}{K''}$. Die beiden Formeln betrachten dasselbe chemische System gewissermaßen von entgegengesetztem Standpunkt, einmal als reduzierendes, das andere Mal als oxydierendes. Diese Betrachtungsweise ist ja in jedem Fall zulässig, abgesehen von den Grenzfällen, daß die Konzentration entweder der $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$-Ionen oder die der $Fe^{\cdot\cdot}$-Ionen gleich null ist. Praktisch wird dies jedoch niemals eintreten, da auch, wenn man von ganz reinen Lösungen ausgehen würde, sich doch alsbald eine, wenn vielleicht auch nur ganz geringe Menge des anderen Stoffes bilden müßte. Um gut definierte Verhältnisse zu haben, muß man mit Lösungen arbeiten, die beide Stoffe in endlichen Konzentrationen enthalten.

Die eben für einen speziellen Fall gegebene Formel für das Potential einer Reduktions- bezw. Oxydationselektrode, ist zuerst von Luther und Bredig aufgestellt und von Peters zur Grundlage experimenteller Untersuchungen gemacht worden. Allgemein lautet die „Peterssche Formel" folgendermaßen. Die Reaktionsgleichung, die sich ja immer schematisch auf die Aenderung von Ionenladungen zurückführen läßt, sei $m[red]^{a\cdot} \rightleftarrows m[ox]^{a+n\cdot} + n[-]$, $m[red]^{a\cdot}$ soll bedeuten m Mole reduzierende Ionen mit je a positiven-Ladungen, $m[ox]^{a+n\cdot}$ entsprechend m oxydierende Ionen mit a + n Ladungen). Dann ist

$$\varepsilon = \frac{0{,}000\,1983}{n}\ T \log \frac{K . (C_{(red)})^m}{(C_{(ox)})^m}.$$

Tritt mehr als ein wirksamer Stoff auf jeder Seite der Reaktionsgleichung auf, so erscheinen in der Formel die Produkte der zu den betreffenden Potenzen erhobenen Konzentrationen. Als allgemeinster Ausdruck würde sich dann in etwas anderer, aber ohne weiteres verständlicher Form ergeben:

$$\varepsilon = \frac{0{,}000\,1983}{n}\ T\ (\log K + \Sigma m \log C_{red} - \Sigma m \log C_{ox}).$$

Da man schließlich jeden potentialbildenden Vorgang, auch einen an angreifbaren Elektroden, als Reduktions- oder Oxydationsvorgang, als eine Uebertragung von Ladungseinheiten ansehen kann, so gilt diese Formel ganz allgemein. Sie geht ja auch sofort in den für angreifbare Elektroden gegebenen Ausdruck über, wenn man berücksichtigt, daß in diesem Fall C_{red} konstant ist.

Wenn nach Art der vorhandenen Stoffe verschiedene Reaktionen potentialbildend wirken könnten, so läßt sich auf Grund der Formel ermitteln, welcher von ihnen wirksam ist. Man muß feststellen, mit welcher Potenz ihrer Konzentrationen die einzelnen Stoffe das Potential beeinflussen.

Ueber die Temperaturabhängigkeit elektromotorischer Potentiale ist sehr wenig bekannt, sie scheint im allgemeinen nicht sehr groß zu sein.

Anhang: Potentiale in Schmelzflüssen und in nichtwässerigen Lösungsmitteln. Das Zustandekommen von Potentialen in diesen Fällen wird man sich in analoger Weise wie in wässerigen Lösungen denken können. Für eine genaue experimentelle Untersuchung besteht die große Schwierigkeit, daß über die Ionenkonzentrationen nur wenig Sicheres bekannt ist. Abegg und Neustadt haben gefunden, daß in nichtwässerigen Lösungen die Reihenfolge der Metalle in bezug auf den Wert des Potentiales in allen Lösungen dieselbe ist, und daß die Potentialdifferenzen der Metalle auf gleiche Ionenkonzentrationen bezogen, auch nahe die gleichen waren.[1])

4. Messung von Einzelpotentialen.

4 a) Spannungsmessung einer galvanischen Kette. Potentialvermittler. Die Potentialdifferenz Elektrode-Elektrolyt ist einer unmittelbaren Bestimmung nicht zugänglich. Man kombiniert die zu messende Elektrode mit einer zweiten, deren

[1]) Anm. b. d. Korr.: vgl. N. Isganschew, Ztschr. f. Elektroch. **18**, 568 (1912).

Potential bekannt und gut konstant ist, einer Normalelektrode, zu einer Kette, deren Spannung man mißt.

Wenn, wie es meistens der Fall ist, die Elektrolyten der zu messenden Kette und der Normalelektrode verschiedene Zusammensetzung haben, so muß man eine Vermischung möglichst verhindern. Man ordnet die Elektroden in zwei verschiedenen Gefäßen an und überbrückt, eventuell unter Einschaltung eines Zwischengefäßes, durch mit Elektrolyt angefüllte Heber. Durch geeignete Form der Hebermündungen, durch Anfüllung mit diffusionshemmendem Material (Seesand), durch Gelatinierung des Heberinhaltes läßt sich eine Vermischung in ausreichender Weise vermeiden. Recht brauchbar ist auch ein ungefetteter Hahn im Heberrohr, der während der Messung geschlossen bleibt. Die kapillare Schicht um den Hahnküken herum leitet bei Anwendung empfindlicher Meßinstrumente genügend. Als Meßmethoden sind besonders solche brauchbar, bei denen die durch die Kette hindurchgehende Strommenge klein ist. Anderenfalls können Polarisationserscheinungen die Potentiale verändern. Unter Umständen kann jedoch der Hindurchgang größerer Strommengen dadurch günstig wirken, daß er in kleiner Menge vorhandene Verunreinigungen beseitigt. Hauptsächlich kommen die drei folgenden Methoden in Frage: 1. Man schließt die zu messende Kette über einen gegen den inneren Widerstand der Kette hohen Widerstand und ein empfindliches Galvanometer und vergleicht den gefundenen Ausschlag mit dem durch ein Normalelement bewirkten. 2. An Stelle von Widerstand und Galvanometer kann man auch ein Quadranten- oder anderes Elektrometer verwenden. 3. Am meisten benutzt wird die Poggendorff — Du Bois - Reymondsche Kompensationsmethode. Die zu messende Kette befindet sich in einem Stromkreis, der außer einem empfindlichen Stromzeiger (Kapillarelektrometer oder empfindliches Galvanometer) eine meßbar veränderliche äußere Potentialdifferenz enthält. Diese erzeugt man sich, indem man eine Stromquelle von möglichst konstanter Spannung (Akkumulator), die größer sein muß als die zu messende, über den Meßdraht einer Wheatstoneschen Brücke (oder auch einen Rheostaten) schließt. Der eine Zweig des Stromkreises, der das zu messende Element enthält, ist mit einem Ende des Drahtes verbunden, der andere mit dem Gleitkontakt. Die durch die beiden Potentialdifferenzen in diesem Kreis erzeugten Ströme müssen entgegengesetzte Richtung haben. Man sucht die Stellung des Gleitkontaktes, in der diese beiden Ströme gleich, der Gesamtstrom, wie an dem Stromzeiger erkannt wird, gleich Null ist. Dann ist das Potential der zu messenden Kette gleich dem an dem Meßdraht abgegriffenen Potential. Den absoluten Potentialwert der Einheit der Meßdrahtteilung ermittelt man, indem man an Stelle der zu messenden Kette ein Normalelement bringt. Die Vorzüge dieser Methode liegen darin, daß es einmal dabei auf den inneren Widerstand der Kette nicht ankommt, und das zweitens in stromfreiem Zustand gemessen wird, also Polarisationserscheinungen nicht stören. Allerdings gehen beim Abgleichen merkliche Ströme durch die Kette hindurch, es ist daher empfehlenswert, zunächst Widerstände vorzuschalten.

4b) Berechnung der Einzelspannung. Um aus der gemessenen Spannung E den Potentialsprung ε an der zu untersuchenden Elektrode zu erhalten, muß man von E sämtliche noch in der Kette vorhandenen Potentialsprünge natürlich unter Berücksichtigung des Vorzeichens abziehen. Wenn wir die Potentialdifferenzen an der Berührungsstelle zweier metallischer Leiter, die, wenn sie bei konstanter Temperatur des ganzen Systems überhaupt vorhanden sind, sicher nur sehr klein sein werden, außer Betracht lassen, so sind zu berücksichtigen 1. die Potentialdifferenzen an der Berührungsfläche zweier verschieden zusammengesetzter Elektrolyte, 2. die Potentialdifferenz an der Normalelektrode.

a) Eliminierung der Flüssigkeitspotentiale. Die Flüssigkeitspotentiale lassen sich in einfachen Fällen berechnen (vgl. den Artikel „Galvanische Ketten"). Man kann sie weitgehend eliminieren, indem man entweder sämtlichen Lösungen ein Salz (z. B. Natriumnitrat) in großem Ueberschuß zufügt, oder man schaltet die Lösung eines Elektrolyten ein, dessen Kation und Anion möglichst gleiche Wanderungsgeschwindigkeiten haben. Recht brauchbar ist Kaliumchlorid in 3,5 n-Lösung. Unsicherheiten sind jedoch bei der Eliminierung von Flüssigkeitspotentialen nicht zu vermeiden, es ist daher allgemeiner Gebrauch, bei Veröffentlichungen auch die unmittelbar gemessenen Potentialwerte anzugeben, zugleich mit genauen Daten über den chemischen Aufbau der gemessenen Kette.

Potentialvermittler. In vielen Fällen, namentlich bei der Messung von Reduktions- bezw. Oxydationspotentialen bekommt man keine brauchbaren Resultate, weil die Vorgänge an den Elektroden zu langsam verlaufen. Setzt man geeignete, mit den betreffenden Stoffen sich schnell umsetzende Stoffe, z. B. Jod und Jodionen, in kleinen Mengen zu, so sollte sich das Gleichgewicht so einstellen, daß das Verhältnis der Konzentrationen der zuge-

Digitized by Google

setzten Stoffe dasselbe sich aber jetzt schnell einstellende Potential erzeugen müßte, wie die in der Hauptmenge vorhandenen Stoffe. Die Anwendung solcher Potentialvermittler scheint jedoch nicht ohne Bedenken zu sein.

β) Absoluter Nullpunkt des Potentials, Tropfelektrode. Um den absoluten Wert des gesuchten Elektrodenpotentials zu erhalten, muß man den absoluten Wert des Potentials der Normalelektrode kennen. Bei unseren Messungen erhalten wir immer nur Potentialdifferenzen. Man müßte also, um die absoluten Werte der Normalelektroden zu haben, diese direkt oder indirekt mit einer Elektrode zusammen messen, deren Potentialwert man auf Grund besonderer Ueberlegungen kennt.

Als eine derartige Elektrode gilt die Tropfelektrode, bei der Quecksilber in einem feinen sich in Tropfen auflösenden Strahl in einen Elektrolyten hineinfließt. Nach Helmholtz sollte die an dem Tropfen auftretende Doppelschicht positive Elektrizität aus dem Tropfen wegnehmen, so lange, bis keine Potentialdifferenz mehr zwischen Tropfen und Elektrolyt besteht (vgl. den Artikel „Elektrokapillarität"). Im Sinne der Nernstschen Theorie ist dies jedoch nicht richtig, es muß sich ein von der Konzentration der Quecksilberionen nach Richtung und Größe abhängiger Potentialsprung einstellen.

Wie oben (S. 1080) ausgeführt, müssen dabei Konzentrationsänderungen in dem Elektrolyten auftreten, was durch Palmaer bestätigt wurde. Der sich in Tropfen auflösende Quecksilberstrahl und die Quecksilbermasse am Boden des Gefäßes bilden also die Elektroden einer Konzentrationskette. Würde man sie durch einen Draht verbinden, so würde ein eingeschalteter Stromzeiger einen Strom bestimmter Richtung erkennen lassen. Schon bei kleinen Konzentrationen der Quecksilberionen ist deren osmotischer Druck p größer als der Lösungsdruck des Metalls P. Die Tropfen laden sich positiv. Läßt man aber die Konzentrationen der Ionen immer kleiner werden, so muß schließlich $p < P$ werden, die Tropfen werden sich negativ laden. Der Strom der Konzentrationskette muß, wie leicht einzusehen ist, in beiden Fällen eine entgegengesetzte Richtung haben. Ist $p = P$, so wird dieser Strom gleich Null. Wenn man also durch systematische Variation der Konzentration der Quecksilberionen zu einer Lösung kommt, bei der dies der Fall ist, was natürlich auch daran erkannt werden kann, daß tropfende und ruhende Quecksilbermasse, gegen dieselbe Normalelektrode gemessen, dasselbe Potential zeigen, so kann man daraus schließen, daß $p = P$ ist, d. h. daß an der Berührungsfläche von Quecksilber mit dieser Lösung kein Potentialsprung auftritt: wir haben eine Nullösung. Palmaer konnte durch Zugabe von Cyankalium oder Schwefelwasserstoff die $Hg^{\cdot}$-Ionen-Konzentration auf einen so niedrigen Wert herunterdrücken. Er fand, daß die Potentialdifferenz zwischen einer solchen Nullösung und einer der gleich zu besprechenden Normalelektroden nämlich der 0,1 n KCl-Calomel-Elektrode bei 18° 0,5732 ± 0,0003 Volt betrug. Eine gewisse Unsicherheit haftet jedoch dieser Zahl noch an. Es können Adsorptionspotentiale auftreten (vgl. den Artikel „Adsorption"), die unter Umständen bis einige hundertstel Volt betragen können. Andere Methoden, Nullösungen aufzufinden, hat Billiter benutzt. Er setzt z. B. in einer Lösung fallende Metallteilchen der Einwirkung eines elektrostatischen Feldes aus. Offenbar wird das Teilchen dann keine Ablenkung von der senkrechten Fallrichtung erfahren, wenn es gegenüber dem Elektrolyten keine Ladung besitzt. Die von Billiter gefundenen Zahlen weichen jedoch beträchtlich von den Palmaerschen ab, die ihrerseits gut mit älteren Messungen übereinstimmen. Immerhin muß die Frage nach dem absoluten Nullpunkt als noch nicht geklärt angesehen werden. Sie hat jedoch zurzeit auch keine besondere Bedeutung, da wir keine Beziehungen kennen, in der dieser Punkt eine wesentliche Rolle spielte, vergleichbar etwa dem absoluten Nullpunkt der Temperatur. Man ist daher übereingekommen, willkürlich das Potential einer gleich zu besprechenden bestimmten Normalelektrode, das der Wasserstoffelektrode, gleich Null zu setzen.

γ) Normalelektroden. Nullpunkte des Potentials. An Normalelektroden sind in erster Linie zwei Anforderungen zu stellen. Sie müssen einmal mit genügender Zuverlässigkeit reproduzierbar sein und zweitens müssen sie möglichst frei von Polarisation sein, d. h. ihr Potential darf auch bei stärkerem Stromdurchgang seinen Wert nicht ändern, oder eine eingetretene Aenderung muß wenigstens nach einiger Zeit wieder verschwunden sein. Um frei von Unterschieden zu sein, die durch verschiedene mechanische Bearbeitungszustände bedingt sein könnten, benutzt man als Elektrodenmetall in den meisten Fällen Quecksilber. Die konstante Konzentration der Quecksilberionen, die ja für die Konstanz des Potentials notwendig sind, wird dadurch erzielt, daß man eine geeignete möglichst schwer lösliche Quecksilberverbindung (Kalomel, Merkurosulfat, Quecksilberoxyd) über das Quecksilber schichtet. Die benutzte Lösung muß dann immer gesättigt sein in bezug auf den betreffenden Stoff. Werden

Digitized by Google

beim Stromdurchgang je nach der Stromrichtung neue Ionen gebildet oder vorhandene entladen, so muß sich eine entsprechende Menge der betreffenden Verbindung in fester Form abscheiden bezw. in Lösung gehen.

Eine Wasserstoffnormalelektrode erhält man, wenn man Wasserstoff unter bekanntem Druck an einem elektrolytisch mit Platinmohr überzogenem Platinblech vorbeileitet, das in einen Elektrolyten bestimmter Zusammensetzung eintaucht. An Stelle des Platinblechs haben sich dünne Platinschichten, die man durch Einbrennen von Glanzplatin auf Glas enthält, und die dann platiniert werden, sehr gut bewährt. Das Potential derartiger Elektroden erreicht schon nach etwa 15 Minuten einen konstanten sicher reproduzierbaren Wert. Dieser ist natürlich abhängig vom Partialdruck des Wasserstoffs und der Konzentration der H·-Ionen. Als Wasserstoffnormalelektrode im speziellen Sinn nimmt man die, bei der der Wasserstoffdruck gleich einer Atmosphäre (die durch wechselnden Atmosphärendruck bedingten Unterschiede sind so klein, daß sie fast immer vernachlässigt werden können) und bei der die Konzentration der H·-Ionen gleich 1 n ist. Das Potential dieser Elektrode wird gleich Null gesetzt. Eine Schwierigkeit besteht nur darin, daß sich die Elektrode als solche nicht mit Sicherheit verwirklichen läßt, da die Konzentration der H·-Ionen in den Lösungen der in Betracht kommenden Säuren nicht genau genug bekannt ist. Man kann annehmen, daß wenigstens annähernd eine 2n-Schwefelsäure die richtige Konzentration besitzt. Für genauere Zwecke muß man in verdünnteren Lösungen mit genauer bekannter H-Ionen-Konzentration messen und mit Hilfe der allgemeinen Formel auf die höheren Konzentrationen umrechnen.

Um mit anderen Normalelektroden ausgeführte Messungen auf die Wasserstoffnormalelektrode als Nullpunkt zurückführen zu können, muß man die Potentialdifferenz der beiden Elektroden kennen. Eine Tabelle der wichtigsten dieser Werte ist die folgende von Auerbach gegebene. ε_h bedeutet ganz allgemein das Potential der betreffenden Elektrode, gegenüber der Wasserstoffnormalelektrode als Nullpunkt. Das Vorzeichen gibt den Sinn der Ladung an, die das Metall der Elektrode gegen das Platin der Wasserstoffelektrode haben würde.

Elektrode	ε_h in Volt bei 0°	18°	25°
$Hg \mid Hg_2Cl_2$, KCl 0,1 n	+ 0,337	+ 0,337	+ 0,337
$Hg \mid Hg_2Cl_2$, KCl 1,0 n	+ 0,289	+ 0,286	+ 0,285
$Hg \mid Hg_2SO_4$, H_2SO_4 0,1 n / 0,5 n		+ 0,68	
$Hg \mid HgO$, KOH 1,0 n	+ 0,130		+ 0,107
$Hg \mid HgO$, $NaOH$ 1,0 n	+ 0,133		+ 0,111
$Hg \mid HgO$, $NaOH$ 0,1 n	+ 0,184		+ 0,106

In vielen, namentlich älteren Arbeiten, sind die Potentialangaben auf andere Nullpunkte bezogen. Da wohl die Mehrzahl aller Potentiale gegen die 1 n KCl-Kalomel-Normalelektrode gemessen sind, so setzt man vielfach deren Potential gleich Null. Potentiale in dieser Zählung werden mit ε_c bezeichnet. Die 1n KCl-Kalomel-Elektrode besitzt gegenüber der Wasserstoffnormalelektrode nach der Tabelle bei 18° ein Potential $\varepsilon_h = + 0{,}286$. Es gilt also $\varepsilon_h = \varepsilon_c + 0{,}286$ Volt.

Das absolute Potential der 1n KCl-Kalomel-Elektrode liegt nach Messungen mit der Tropfelektrode nahe bei + 0,56 Volt. Nach einem Vorschlag von Ostwald soll es willkürlich genau = + 0,5600 Volt gesetzt werden, d. h. der absolute Nullpunkt des Potentials würde um diesen Betrag von der Kalomel-Elektrode aus nach der unedlen Seite liegen. Dieser Nullpunkt würde gegen die Wasserstoffelektrode ein Potential von $-0{,}560 + 0{,}286 = -0{,}274$ Volt besitzen. Also gilt $\varepsilon_h = \varepsilon_{absolut} - 0{,}274$ Volt.

5. Elektrochemische Spannungsreihen.

5a) Begriff des Normalpotentials. Um die Potentiale verschiedener Elektrodenvorgänge miteinander vergleichen zu können, müssen die Konzentrationen der potentialbestimmenden Stoffe soweit sie variabel sind, vergleichbare Werte besitzen. Man bezeichnet als Normalpotential $_0\varepsilon_h$ eines Elektrodenvorgangs, das auf die Wasserstoffnormalelektrode bezogene Potential für den Fall, daß alle nur gelöst vorhandenen Stoffe, soweit sie potentialbestimmend wirken, in der Einheitskonzentration vorliegen. Für andere Konzentrationen kann man das Potential ε_h aus dem Normalpotential unter Benutzung der S. 1083 gegebenen allgemeinen Formel berechnen. In dieser Formel sind aber die Vorzeichen so gewählt worden, daß ε positiv wird, wenn an der Elektrode ein Oxydationsvorgang stattfindet, also z. B. Metall-Ionen neu gebildet werden. Nach allgemeiner Uebereinkunft soll aber das Vorzeichen dem Ladungssinn des Elektrodenmetalls entsprechen, der ist aber in diesem

Digitized by Google

Fall negativ, also müssen wir in dem Ausdruck für ε die Vorzeichen umkehren. Für 18° gilt dann

$$\varepsilon = \frac{0{,}058}{n} (\Sigma m \log C_{ox} - \Sigma m \log C_{red} - \log K)$$

Für die Einheitskonzentration wird

$$_0\varepsilon = \frac{0{,}058}{n} (-\log K)$$

ε und $_0\varepsilon$ würden absolute Potentiale bedeuten, deren Differenz $\varepsilon - {_0\varepsilon}$ muß aber auch gleich der Differenz der Potentiale, bezogen auf die Wasserstoffnormalelektrode, sein. Also gilt auch

$$\varepsilon_h = {_0\varepsilon_h} + \frac{0{,}058}{n} (\Sigma m \log C_{ox} - \Sigma m \log C_{red}).$$

5b) Spannungsreihen. Die folgenden Tabellen nach **Abegg**, **Auerbach** und **Luther**, Elektromotorische Kräfte, Abhandlungen der Bunsengesellschaft Nr. 5, enthalten die Normalpotentiale, der durch die chemischen Symbole angedeuteten Vorgänge. Das Vorzeichen entspricht, wie schon erwähnt, dem Sinn der Ladung des Elektrodenmetalls. Die Zahlen gelten für Zimmertemperatur. Die Anordnung erfolgt nach steigenden Werten, es sind also Spannungsreihen.

α) Metalle.

Metall	+ nF n	= Jon	Normalpotential $_0\varepsilon_h$	
K	1	$K^{\cdot}$	—3,2	thermochemische Schätzungswerte
Ba	2	$Ba^{\cdot\cdot}$	—2,8	
Na	1	$Na^{\cdot}$	—2,8	
Sr	2	$Sr^{\cdot\cdot}$	—2,7	
Li	1	$Li^{\cdot}$	—2,7	
Ca	2	$Ca^{\cdot\cdot}$	—2,5	
Mg	2	$Mg^{\cdot\cdot}$	—1,55	
Mn	2	$Mn^{\cdot\cdot}$	—1,0	
Zn	2	$Zn^{\cdot\cdot}$	—0,76	
Cr	2	$Cr^{\cdot\cdot}$	—0,6	
Cr	3	$Cr^{\cdot\cdot\cdot}$	—0,5	
Fe	2	$Fe^{\cdot\cdot}$	—0,43	
Cd	2	$Cd^{\cdot\cdot}$	—0,40	
Jn	3	$Jn^{\cdot\cdot\cdot}$	—0,35	
Tl	1	$Tl^{\cdot}$	—0,32	
Co	2	$Co^{\cdot\cdot}$	—0,29	
Ni	2	$Ni^{\cdot\cdot}$	—0,22	
Pb	2	$Pb^{\cdot\cdot}$	—0,12	
Sn	2	$Sn^{\cdot\cdot}$	—0,10	
Fe	3	$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	—0,04	
Sb	3	$Sb^{\cdot\cdot\cdot}$	+0,1	
Bi	3	$Bi^{\cdot\cdot\cdot}$	+0,2	
As	3	$As^{\cdot\cdot\cdot}$	+0,3	
Cu	2	$Cu^{\cdot\cdot}$	+0,34	
Co	3	$Co^{\cdot\cdot\cdot}$	+0,4	
Cu	1	$Cu^{\cdot}$	+0,51	
Ag	1	$Ag^{\cdot}$	+0,80	
Pb	4	$Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	+0,8	
Pd	2	$Pd^{\cdot\cdot}$	+0,82	
Hg	2	$Hy^{\cdot\cdot}$	+0,86	
Au	3	$Au^{\cdot\cdot\cdot}$	+1,3	
Au	1	$Au^{\cdot}$	+1,5	

β) Nichtmetalle.

niedere Oxydationsstufe	+ nF n	= höhere Oxydationsstufe	$_0\varepsilon_h$
S''	2	S fest	—0,55
H_2 gasf.	2	$2H^{\cdot}$	±0,00
$4OH'$	4	O_2 gasf. + $2H_2O$	+0,41[1]
$2J'$	2	J_2 fest	+0,54
$2J'$	2	J_2 gelöst	+0,63
Cl_2 gasf. + $2OH'$	2	$2ClOH$	+0,85
$2Br'$	2	Br_2 flüss.	+1,08
$2Br'$	2	Br_2 gelöst	+1,10
O_2 gasf. + $2OH'$	2	O_3 gasf. + H_2O	+1,1
$2H_2O$	4	O_2 gasf. + $4H^{\cdot}$	+1,23[1]
$2Cl'$	2	Cl_2 gasf.	+1,35
$2Cl'$	2	Cl_2 gelöst	+1,39
O_2 gasf. + H_2O	2	O_3 gasf. + $2H^{\cdot}$	+1,9
$2F'$	2	F_2 gasf.	+1,9

γ) Ionen variabeler Valenz und einige Oxydationsvorgänge

niedere Oxydationsstufe	+ nF n	= höhere Oxydationsstufe	$_0\varepsilon_h$
$Cr^{\cdot\cdot}$	1	$Cr^{\cdot\cdot\cdot}$	—0,4
$V^{\cdot\cdot}$	1	$V^{\cdot\cdot\cdot}$	—0,2
$Ti^{\cdot\cdot\cdot}$	1	$Ti^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	—0,04
$Cu^{\cdot}$	1	$Cu^{\cdot\cdot}$	+0,17
$Fe^{\cdot\cdot}$	1	$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	+0,75
$Au^{\cdot}$	2	$Au^{\cdot\cdot\cdot}$	+1,2
$Tl^{\cdot}$	2	$Tl^{\cdot\cdot\cdot}$	+1,24
$Cr^{\cdot\cdot\cdot}$ + $4H_2O$	3	$HCrO_4'$ + $7H^{\cdot}$	+1,3
$Mn^{\cdot\cdot}$ + $2H_2O$	2	MnO_2 fest + $4H^{\cdot}$	+1,35
$Pb^{\cdot\cdot}$ + $2H_2O$	2	PbO_2 fest + $4H^{\cdot}$	+1,44
$Mn^{\cdot\cdot}$ + $4H_2O$	5	MnO_4' + $8H^{\cdot}$	+1,52
$Ce^{\cdot\cdot\cdot}$	1	$Ce^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	+1,6
MnO_2 fest + $2H_2O$	3	MnO_4' + $4H^{\cdot}$	+1,63
$PbSO_4$ fest + $2H_2O$	2	PbO_2 fest + $4H^{\cdot}$ + SO_4''	+1,66
$Pb^{\cdot\cdot}$	2	$Pb^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	+1,8
$Co^{\cdot\cdot}$	1	$Co^{\cdot\cdot\cdot}$	+1,8

[1]) Nach Gleichgewichtsmessungen.

Literatur. *Zu 1 bis 3:* ***M. Le Blanc****, Lehrbuch der Elektrochemie, 5. Aufl. (1911), S. 148 ff.* — ***F. Foerster****, Elektrochemie wässeriger Lösungen (1905), S. 97 ff.* — ***W. Nernst****, Theoretische Chemie, 6. Aufl. (1909), 739 ff.* — ***W. Ostwald****, Lehrbuch der allgemeinen Chemie, 2. Aufl. II (1893), S. 808 ff.*

Zu 4: ***F. Kohlrausch****, Lehrbuch der praktischen Physik, 11. Aufl. (1910), Artikel 99 und 104.* — ***Ostwald und Luther****, Physikochemische Messungen, 3. Aufl. (1910), S. 419 ff.*

Zu 5: ***R. Abegg*** *(†),* ***Fr. Auerbach, R. Luther****, Elektromotorische Kräfte, Abhandlungen der Bunsengesellschaft Nr. 5 (1911).*

Fr. Flade.

Digitized by Google

Pouillet

Claude Servais Mathias.

Geboren am 16. Februar 1790 in Cusance bei Baume-les-Dames, Departement Doubs, gestorben am 14. Juni 1868 in Paris. Er war Schüler der Normalschule, später Repetent und Maître de conférence an dieser Anstalt, darauf Professor am Collège Bourbon, später Professor und schließlich Direktor am Conservatoire des Arts-et-Métiers. Pouillet war bis zur Februarrevolution Kammermitglied; 1849 legt er seine Stelle nieder. Er war ein Schüler von Biot und Gay-Lussac. Pouillets Arbeitsgebiet war in der Hauptsache die Elektrizitätslehre, er konstruierte eine Tangenten- und eine Sinusbussole; auch auf dem Gebiet der Optik und Wärmelehre hat er sich betätigt. Seine Éléments de physique et de météorologie wurden die Grundlage zu Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik (jetzt 10. Auflage erschienen).

E. Drude.

Präcambrium.

1. Definition. 2. Vorkommen und lokale Einteilungen. 3. Klimatologische Verhältnisse. Fauna und Flora. 4. Homotaxie und allgemeine Einteilung. 5. Erze. Mineralien.

1. **Definition.** Seiner wörtlichen Bedeutung nach soll Präcambrium alle Formationen vorcambrischen Alters umfassen. Das Wort wurde aber auch von einigen Verfassern (de Lapparent, Nathorst usw.) in beschränkterer Bedeutung angewandt, wobei man darunter nur die jüngeren präcambrischen Sedimentformationen verstand, welche meistens völlig klastisch und vom Archäicum durch eine deutliche Diskordanz getrennt sind. Erstgenannte Definition ist die einzige theoretisch richtige. Da jedoch das Archäicum in einem besonderen Artikel geschildert wird (Bd. I, S. 535), so sollen hier hauptsächlich nur diese jüngeren präcambrischen (postarchäischen), oder wie sie Haug nennt, antecambrischen Formationen behandelt werden.

Nach den Beschlüssen der internationalen Kongresse soll das cambrische System nach unten durch die Bodenschicht derjenigen Zone begrenzt werden, welche die sogenannte Olenellusfauna enthält. Da indessen diese Zone keineswegs immer durch eine deutliche Diskordanz begrenzt wird, sondern von Schichten in konkordanter Folge unterlagert wird, welche eine ähnliche petrographische Beschaffenheit besitzen, werden auch diese oft zum cambrischen System gerechnet, wobei man sie häufig als eocambrische Ablagerungen bezeichnet. Würde ein solches Verfahren allgemein gebilligt, so verlöre die Grenze zwischen dem Paläozoicum und dem Präcambrium ihre streng chronologische Bedeutung.

Jedenfalls ist die untere Grenze der jüngeren präcambrischen Formationen dem Archäicum gegenüber sehr unbestimmt und muß es noch lange bleiben. Eine chronologische Bedeutung hat diese Grenze vorläufig nicht, sondern zum Archäicum werden in jeder Gegend nur diejenigen vorcambrischen Formationen gezählt, welche die für diesen Komplex charakteristischen petrographischen und stratigraphischen Eigentümlichkeiten aufweisen (vgl. Bd. I, S. 535).

2. **Vorkommen und lokale Einteilungen.** Ihrem allgemeinen Charakter nach stimmen die jüngeren präcambrischen Formationen mehr mit den darüberlagernden fossilienführenden Systemen, als mit dem Hauptteil des Archäicums überein; während in diesem Granite und kristalline Schiefer vorherrschen, werden jene zum größten Teil aus schichtigen Sandsteinen, Konglomeraten, Tonschiefern, Kalksteinen usw. zusammengesetzt, welche sich nur durch die Abwesenheit oder das spärliche Vorkommen fossiler Reste von den paläozoischen und jüngeren Sedimentformationen unterscheiden. Ein anderer Teil besteht aus mehr oder weniger stark umgewandelten Sedimenten, wie Quarziten, Glimmerschiefern usw. oder aus vulkanischen Ergußgesteinen (Metabasiten, Quarzporphyren usw.), welche jedoch in der Regel nicht in gleichem Maße kristallin und dazu nicht in so hohem Grade mit Graniten vermengt sind, wie die archäischen Schiefergesteine. Bezüglich der Entstehung dieser jüngeren präcambrischen Formationen durch „aktuelle Ursachen“ (vgl. Bd. I, S. 535) herrscht somit im allgemeinen keine Meinungsverschiedenheit.

Am großartigsten und mannigfaltigsten entwickelt und am besten untersucht sind die jüngeren präcambrischen Bildungen in Nordamerika, besonders in den Grenzgebieten der Vereinigten Staaten und Kanadas. Hier gelang es schon 1855 Logan nördlich vom Lake Superior eine Abteilung jüngerer präcambrischer Sedimente abzutrennen, für welche er den Namen huronische Formationen einführte. Irving, der ein Vierteljahrhundert später das Studium der betreffenden Formationen in den Ländern rings um den Lake Superior wieder in Angriff nahm, stellte 1888 die stratigraphischen Prinzipien auf, welche später die leitenden geblieben sind. Er teilte erstere in zwei Abteilungen ein, die er Keweenawan und Huronian nannte. Van Hise hat seitdem mit mehreren anderen Forschern zusammen in einer Reihe klassischer Abhandlungen diese Formationen eingehend untersucht und beschrieben, so daß sie jetzt zu den am besten bekannten gehören. Er

Digitized by Google

teilte das Huronian in zwei, später in drei verschiedene Abteilungen ein.

In der betreffenden Gegend besteht die oberste Abteilung des Präcambriums, das sogenannte Keweenawan, vorwiegend aus roten, feldspatreichen Sandsteinen, sowie aus Konglomeraten, Tonschiefern, dazwischen lagernden Diabasen, Quarzporphyren usw. Die Gesamtmächtigkeit beträgt bis 14000 Meter. Die Lagerung ist im allgemeinen flach, es kommt aber auch, besonders in der unteren Abteilung, ein steileres Einfallen vor. Wo diese Abteilung vom Cambrium überlagert wird, ist die Diskordanz gut ausgeprägt, wo es aber auf den flach liegenden Schichten der obersten Abteilung des Keweenawan liegt, schmiegen die Schichten sich konkordant aneinander. Nach der Ansicht einiger Geologen hätte keine Unterbrechung bei der Ablagerung dieser verschiedenen Formationen stattgefunden.

Die huronischen Formationen derselben Gegenden bestehen aus mehr oder weniger umgewandelten quarzitischen Sandsteinen, Grauwacken, Tonschiefern, Glimmerschiefern, mit untergeordneten Kalkstein- und Dolomitlagern, welche mit vulkanischen Gesteinen abwechseln und oft mächtige Einlagerungen von Eisenerzen enthalten. Die drei Abteilungen werden durch mehr oder weniger ausgeprägte Diskordanzen getrennt. An ihrer Basis treten oft große Massen von Konglomeraten auf. Einige, die im unteren Huron vorkommen, sind, wie Coleman dargetan hat, als Moränenkonglomerate aufzufassen. Im oberen Huron (Animikie) sind die Lager zum Teil schwach disloziert und wenig umgewandelt, während dagegen in den zwei älteren Abteilungen eine stärkere Neigung der Schichten und ein höherer Grad von Metamorphismus vorwalten. Die älteste Abteilung wird oft von Graniten durchdrungen, die aber im Animikie gänzlich fehlen. Erstere, zum Teil auch das mittlere Huron, hat überhaupt oft mehr Aehnlichkeit mit den archäischen Formationen Nordeuropas, als mit denjenigen, welche dort als jungpräcambrisch angesehen werden.

Auch in anderen Teilen Kanadas kommen sedimentäre Formationen vor, welche mit den typischen huronischen große Analogie zeigen, obgleich eine sichere Parallelisierung nicht immer tunlich ist. Ebenso findet man in New Brunswick, Nova Scotia und New Foundland mächtige Lagerserien präcambrischer Sedimente, welche sich zum Teil dem darüberlagernden Cambrium sehr nahe anschließen.

Im westlichen Teil Nordamerikas besitzen präcambrische Sedimentgesteine ebenfalls große Verbreitung und Mächtigkeit. So z. B. findet man im Wasatch- und Uinta-Gebirge in Utah eine 4000 Meter mächtige Serie von präcambrischen Sandsteinen, die sich dem Cambrium konkordant anschließen. Im tiefsten Teil des Grand Cañon von Kolorado treten ebensolche Ablagerungen auf und bilden zwei durch eine Diskordanz getrennte Abteilungen, die Unkar- und die Chuar-Serie, die jede für sich ein paar Tausend Meter Mächtigkeit besitzt. Den Chuar-Schichten ist das Cambrium diskordant aufgelagert. Die Sedimente dieser Serien bestehen aus gefalteten, aber ziemlich schwach umgewandelten Sandsteinen, Konglomeraten, Schiefern und Kalksteinen. Eine noch größere Verbreitung und ebenfalls große Mächtigkeit (bis 3600 Meter) besitzen die jungpräcambrischen Sedimente (die sogenannte Belt-Serie) in den nördlichen Teilen der Rocky Mountains.

Auch in Texas und im südlichen Teil des Alleghany-Gebirges kommen Sedimentgesteine der in Rede stehenden Formationen vor, während dagegen viele andere Sedimentformationen in diesem Gebirge, die früher als präcambrisch galten, sich später als paläozoisch erwiesen haben.

Gehen wir dann zu Europa über, so finden wir hier präcambrische Sedimentformationen erstens in Schottland, im nordwestlichen Teil des Hochgebirges. In dieser sogenannten torridonischen Formation kommen, neben dem vorherrschenden rötlichen Sandstein von wechselnder Korngröße, Konglomerate, Tonschiefer und Kalksteine in geringerer Menge vor. Infolge von großartigen Ueberschiebungen sind die Lagerungsverhältnisse sehr verwickelt; sie wurden erst durch die meisterhaften Untersuchungen von Peach, Horne und anderen schottischen Forschern vollständig enträtselt. Wegen ihrer äußeren Aehnlichkeit mit dem sogenannten Old Red Sandstone Schottlands wurde der torridonische Sandstein früher als devonisch angesehen. Eine ältere Formation präcambrischer Sedimente, die nach der Einteilung Sir Archibald Geikies Dalradian genannt wird, besteht aus Schiefern, Kalksteinen, Quarziten, Konglomeraten usw. und ist wahrscheinlich älter als die torridonische.

Auf der Insel Anglesey und in Wales sowie in Shropshire in England finden sich auch präcambrische Phyllite, Sandsteine, Konglomerate, vulkanische Ergußgesteine usw., für welche mehrere verschiedene Abteilungen mit besonderen Namen aufgestellt worden sind. Sie werden vom Cambrium diskordant überlagert.

Auch Frankreich besitzt in Côtes-du-Nord Sedimentformationen (Phyllite, Grauwacken, Konglomerate, Arkosen usw.), deren präcambrisches Alter von Barrois sicher nachgewiesen worden ist. Ihre Mächtigkeit wird auf zirka 5000 Meter geschätzt.

Digitized by Google

Nach Nordamerika besitzt Nordeuropa (das sogenannte Fennoskandia) die größten und am genauesten untersuchten Gebiete jüngerer präcambrischer Gesteine.

Direkt unterhalb der Schichten, welche die Olenellusfauna enthalten, findet man in den russischen Ostseeprovinzen den sogenannten blauen Ton mit dazwischenlagernden Sandsteinschichten. Er wird gewöhnlich zum Eocambrium gerechnet, könnte aber nach dem oben angeführten auch als präcambrisch bezeichnet werden. Trotz seines ehrwürdigen Alters ist er noch als plastischer Ton erhalten und hat keinerlei Umwandlungen erlitten. Diese Formation enthält spärlich fossile Reste.

Ganz fossilienfrei ist dagegen der grobkörnige Sandstein, der sogenannte Sparagmit, welcher im zentralen Skandinavien den obersten Teil des Präcambriums bildet und zusammen mit anderen Sandsteinen, Konglomeraten, Schiefern und Kalksteinen eine bis 2200 Meter mächtige Ablagerungsserie zusammensetzt.

Die Diskordanz zwischen dem Sparagmit und dem Cambrium ist nicht scharf ausgeprägt; von einigen Geologen wird ersterer zum Eocambrium gerechnet.

Dem unteren Teil der Sparagmitformation schließt sich der sogenannte Dala-Sandstein Dalekarliens sehr nahe an. Er bildet eine 800 Meter mächtige Ablagerung, worin größtenteils rötliche Sandsteine mit Einlagerungen von Diabas abwechseln, und lagert auf einer großen Quarzporphyrdecke. Aehnliche Sandsteine kommen in kleineren Gebieten vielerorts im mittleren Schweden und im südlichen Finnland vor; westlich vom Onega bilden sie ein größeres Gebiet. Alle diese Formationen werden von Högbom, Ramsay und Sederholm zur jotnischen Abteilung des letztgenannten Forschers gerechnet.

In naher Verbindung mit dem jotnischen Sandstein treten die eigentümlichen sogenannten Rapakiwi-Granite, sowie grobkörnige Labradorite auf, welche beide Gesteine in Ångermanland in Schweden die Unterlage des Sandsteins bilden. Zu den älteren Gesteinen zeigen die jotnischen Formationen eine sehr deutliche Diskordanz, welche besonders dadurch scharf hervortritt, daß erstere sehr stark, letztere dagegen gar nicht von Gebirgsfaltungen und Metamorphismus betroffen worden sind. Vor der Ablagerung des Cambriums sind die jotnischen Formationen einer tiefgreifenden Erosion ausgesetzt gewesen; denn erstere ruhen oft direkt auf dem Archäicum.

Im nördlichsten Norwegen, besonders auf der Waranger-Halbinsel, auf der Fischer-Halbinsel und der Insel Kildin an der Nordküste der Halbinsel Kola kommen mächtige Ablagerungen von quarzitischen Sandsteinen, Konglomeraten, Phylliten, Kalksteinen und Dolomiten vor, welche von Thellef Dahll und Reusch zu der von ersterem aufgestellten Raipas- und Gaisaformation gerechnet werden. Anfangs hielt man diese für paläozoisch, möglicherweise sogar mesozoisch, jetzt aber wird ein präcambrisches Alter dieser Formationen für am wahrscheinlichsten gehalten. Ihre Altersbeziehungen zu den jotnischen Formationen sind noch gänzlich unbestimmt. Sie haben an den Gebirgsfaltungen Teil genommen, welche in postsilurischer Zeit hier stattgefunden haben.

In der oberen Abteilung der Gaisa fand Reusch eine Einlagerung eines sehr typischen Moränenkonglomerates.

Am Onega-See treten die jotnischen Sandsteine in naher räumlicher Beziehung zu einer älteren Formation auf, welche besonders im östlichen Teil von Fennoskandia, sowie auch in Lappland eine große Verbreitung besitzt und die nach dem Vorschlage Sederholms jatulisch genannt wird. Sie besteht aus mehr oder weniger metamorphosierten Quarzitsandsteinen nebst Konglomeraten, die oft an der Basis liegen, Tonschiefern, Dolomiten usw. mit eingelagerten Betten von Metabasiten. Im oberen Teil der Formation kommt ein zwei Meter mächtiges Lager von anthrazitischer Kohle (sogenannter Schungit) vor, die zweifelsohne pflanzlicher Entstehung ist und wohl das älteste bisher entdeckte Kohlenlager unserer Erde bildet.

Die jatulischen Sedimente sind zum großen Teil ziemlich stark gefaltet, während dagegen andere Teile flacher liegen. Im ersteren Falle ist der Kontrast der ganz ungestörten jotnischen Formation gegenüber sehr ausgeprägt. Da ein ähnlicher scharfer Kontrast zwischen der zu Falten zusammengeschobenen sogenannten Dalformation am westlichen Ufer des Wener-Sees in Schweden und dem Dalasandstein vorliegt, und erstere auch sonst mit den jatulischen Formationen große Aehnlichkeit besitzt, wird sie nunmehr von Högbom dieser zugerechnet. Von Törnebohm wurden diese beiden Formationen als von Gebirgsfaltung und Metamorphose in ungleicher Stärke betroffene Teile ein und derselben Sedimentformation angesehen.

Die betreffenden Formationen des russischen Kareliens werden von russischen Forschern oft nach dem Vorgange Murchisons für Devon und Carbon in metamorphischer Fazies gehalten. Ramsay hat jedoch sicher bewiesen, daß es dort keine Uebergänge, sondern im Gegenteil nur scharfe Grenzen zwischen diesen Formationen und dem Paläozoicum gibt. Die angeblichen Funde

Digitized by Google

paläozoischer Fossilien im Olonetzgebiet haben niemals bestätigt werden können.

Die Diskordanz zwischen der jatulischen und der älteren kalewischen Formation, welche letztere dem Archäicum zugerechnet wird, ist im russischen Karelien, sowie auch im nördlichen Finnland sehr ausgeprägt, indem die erstgenannte mit flacher Lagerung auf den steil aufgerichteten Schichten der letztgenannten ruht.

Im präcambrischen Gebiet des südlichen Rußlands gibt es auch horizontal liegende Sandsteine in naher Verbindung mit Rapakiwigraniten und Labradoriten, sowie auch gefaltete Quarzitformationen, welche mit den jatulischen große Analogie zeigen und mit Phylliten, Metabasiten, schichtigen Eisenerzen usw. vergesellschaftet sind.

Auch in Sibirien trifft man an mehreren Orten, z. B. in Transbaikalien, Quarzite, Glimmer- und Chloritschiefer, kristalline Kalksteine usw., welche den jüngeren präcambrischen Formationen angehören dürften.

In China entdeckte von Richthofen mächtige Sedimentformationen, welche von der von ihm so genannten sinischen Formation, die Cambrium und Silur umfaßt, überlagert werden. Nach den späteren Untersuchungen Bailey Willis kann man sie in zwei Abteilungen trennen: eine jüngere „neo-proterozoische", das sogenannte Hu-To-System umfassend, welches aus Tonschiefern, Quarziten und Kalksteinen besteht, und eine ältere „eo-proterozoische", das Vu-Tau-System, das aus Chloritschiefern, Quarziten und Konglomeraten, Glimmerschiefern usw. aufgebaut ist. Es ist durch zwei große Diskordanzen in weitere Unterabteilungen zergliedert und ruht selbst diskordant auf einem archäischen Bodenkomplex.

In Südafrika gibt es Quarzitformationen, für welche ein präcambrisches Alter als wahrscheinlich angenommen wird. Dasselbe gilt auch für gewisse Formationen in Südamerika, deren Altersbestimmung jedoch noch sehr unsicher ist.

Klimatologische Verhältnisse. Fauna und Flora. Nichts kann deutlicher die Unrichtigkeit der früheren Anschauungen zeigen, nach welchen das Klima während älterer geologischer Zeiträume in folge des Einwirkens der inneren Erdwärme viel heißer als jetzt gewesen und dann nachher allmählich immer kälter geworden wäre, als Colemans Entdeckung echter glazialer Bildungen im unteren Huron Kanadas. In den mächtigen Konglomeraten dieser Formation fand er unzweifelhafte geschrammte Geschiebe und andere Beweise für die Moränennatur gewisser Teile der ersteren. Daraus schließt er, daß es schon in altpräcambrischer Zeit eine Eiszeit gegeben hat. Die Beweise Colemans wurden gelegentlich des internationalen Geologenkongresses in Stockholm 1910 von zahlreichen Glazialgeologen geprüft, die seinen Schlußfolgerungen beistimmten (vgl. Fig. 1).

Fig. 1. Geschrammtes Geschiebe aus dem unterhuronischen Moränenkonglomerat von Temiscaming in Ontario. Nach Coleman.

Schon früher hatte auch Reusch ein ganz unzweifelhaftes Moränenkonglomerat in der damals für wahrscheinlich paläozoisch angesehenen Gaisa-Formation des nördlichen Norwegens gefunden. Diese Entdeckungen schließen sich den zahlreichen Funden glazialer Bildungen in verschiedenen Sedimentformationen jüngeren Alters (Cambrium, Devon, Carbon-Perm usw.) an.

Andere präcambrische Sedimentgesteine bezeugen durch ihre Beschaffenheit, daß wüstenartige Verhältnisse während ihrer Bildung geherrscht haben. Bei der Abwesenheit einer den Boden schützenden Decke von Pflanzen mit gut entwickelten Wurzeln kann man sich wohl vorstellen, daß auch bei einem feuchteren Klima Wüsten auf den präcambrischen Kontinenten existiert haben können. Jedoch deutet auch sonst die Beschaffenheit vieler präcambrischer Gesteine, welche durch eine äußerst intensive und schnelle Verwitterung entstanden sind, an, daß ein relativ heißes Klima in gewissen präcambrischen Perioden geherrscht hat.

Wenn nun also während jener Zeiten klimatologische Verhältnisse vorgewaltet haben, die von den späteren nicht in höherem Grade abwichen, so fragt es sich, ob man hier nicht auch Spuren einer Fauna und Flora entdecken könnte. Präcambrische Pflanzenreste sind noch niemals gefunden worden (wohl aber, wie schon erwähnt wurde, Kohlen).

Digitized by Google

Tierfossilien fehlen nicht gänzlich in den präcambrischen Formationen, obgleich sie äußerst spärlich sind. Verlegt man die Grenze des Paläozoicums an den Boden der Olenelluszone, so sind die Fossilien, die man im blauen Ton der russischen Ostseeprovinzen antrifft, als präcambrisch zu bezeichnen. Diese Fossilien sind Volborthella, welche Fr. Schmidt als die Schale eines kleinen Cephalopoden beschrieben hat, während Matthews sie als Röhrchen kleiner Rohrwürmer ansieht. Andere, ebenfalls winzig kleine röhrenförmige Fossilien dieses Tones sind die sogenannten Platysoleniten, die Fr. Schmidt als Cystideenstiele auffaßt.

Im eigentlichen Präcambrium hat nun Walcott aus den Belt-Schichten Montanas mehrere Fossilien beschrieben, die zwar zum Teil fragmentarisch, aber in jedem Falle z. T. ganz zweifellos sind. Hier kommen vier verschiedene Arten von Annelidenfährten vor, weiter eine kleine Molluske, eine eigentümliche Bildung, Cryptozoon frequens, die man als eine Koralle gedeutet hat (Fig. 2),

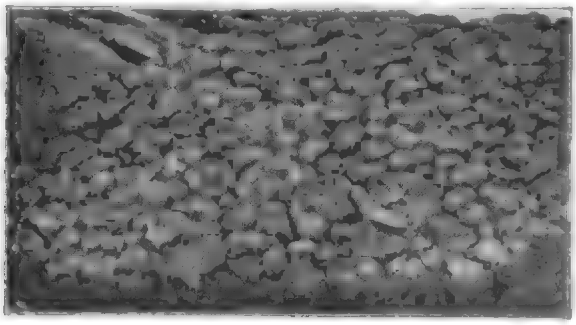


Fig. 2. Cryptozoon frequens Bailey Willis. Oberfläche eines Blockes von Sieyeh-Kalkstein aus Montana. Nach Walcott.

und endlich Fragmente der chitinösen Schale einer Crustacee, der Beltina Danai. In Kalksteinen derselben Serie hat Weller ebenfalls eine Crustacee gefunden. Im Grand Cañon wurde im Chuar-System eine kleine scheibenförmige Molluske sowie auch Cryptozoonähnliche Bildungen entdeckt.

Im Präcambrium von Côtes-du-Nord in Frankreich hat Cayeux mikroskopische Radiolarien und Spongiennadeln gefunden.

Wenn nun auch viele der erwähnten Funde noch zu den Problematica gerechnet werden müssen, so scheinen andere und zwar besonders die zuletzt erwähnten ganz unzweifelhafter Natur zu sein.

Jedenfalls ist wohl die große Spärlichkeit fossiler Reste im Präcambrium im Vergleich mit der reichen Entfaltung des organischen Lebens im Cambrium auffällig, wo die Mehrzahl der großen Stämme der Tierwelt schon vorhanden ist. Dabei ist aber zu bemerken, daß auch die älteste cambrische Fauna lange unbekannt geblieben und noch jetzt nur von vereinzelten Lokalitäten beschrieben worden ist.

Die cambrische Fauna wurde von Barrande die Primordial-Fauna, also die anfängliche genannt. Jetzt zweifeln wohl wenige Paläontologen daran, daß die cambrischen Organismen eine lange Reihe von Vorahnen gehabt haben, welche also während präcambrischer Zeiten existiert haben müssen. An und für sich zeigt die große Mächtigkeit der schon entdeckten verschiedenartigen präcambrischen Sedimentformationen, daß die Länge dieser Zeit unermeßlich groß gewesen sein muß. Also kann schon jetzt die Annahme als bewiesen angesehen werden, welche von Darwin und seinen Nachfolgern bei der Aufstellung der Evolutionshypothese gemacht wurde, daß die Verhältnisse auf der Erde schon lange vor der cambrischen Periode derartig waren, daß Tiere und Pflanzen existieren konnten.

Die Abwesenheit einer reicheren fossilen Fauna und Flora in den bis jetzt gefundenen präcambrischen Formationen hat man auf verschiedene Weise zu erklären versucht.

Nach der einen Hypothese hätte den präcambrischen Tieren im allgemeinen deshalb eine Kalkschale gefehlt, weil, wie Daly annimmt, das Ozeanwasser damals ärmer an Kalk gewesen wäre als später. Jedoch existieren ja auch sedimentäre Kalksteine präcambrischen Alters, und der Umstand, daß die kalkhaltigen kristallinen Gesteine damals einer äußerst intensiven Verwitterung ausgesetzt waren, wobei die Feldspatgemengteile zersetzt und die Produkte den Meeren zugeführt wurden, spricht dafür, daß genügende Kalkmengen auch in den ältesten Meeren vorhanden gewesen sein müssen. Uebrigens könnten auch chitinöse Schalen unter Umständen wohl erhalten geblieben sein, wie ja die erwähnten Fälle in Amerika bezeugen.

Man hat auch die Vermutung ausgesprochen, die älteste Fauna und Flora hätte vorzugsweise die tieferen Teile der Ozeane bewohnt und erst später das Ufer „entdeckt“. In Anbetracht der vielen Vorteile, welche die littoralen Zonen mit ihrem reicheren Wechsel verschiedener Lebensbedingungen gegenüber der Tiefsee bieten, ist es jedoch kaum glaublich, daß erstere verhältnismäßig lange unbewohnt geblieben sein können. Die Tatsache, daß sich eine Menge Landtiere aus Meerestieren entwickelt haben, beweist ja nicht notwendigerweise eine allgemeine „Meeresflucht“ der organischen Entwickelung, denn auch umgekehrte Verhältnisse kommen vor. Man kann sich z. B. sehr wohl vorstellen, daß das erste Leben gerade an feuchten Stellen der Landmassen entstanden ist. Das oben erwähnte Vorkommen der

Digitized by Google

präcambrischen Kohle, welche zusammen mit Schlammsteinen auftritt, bezeugt ja deutlich, daß in Sümpfen oder in seichten Gewässern pflanzliches Leben schon während altpräcambrischer Zeit existierte.

In jedem Falle herrschen unter den präcambrischen Ablagerungen relativ grobkörnige terrestrische Sedimente vor, welche von den pflanzenarmen Landoberflächen schnell fortgespült wurden. Solche Sedimente sind im allgemeinen fossilienfrei, erstens weil sie dem organischen Leben einen kargeren Boden geboten haben, zweitens weil in ihnen eingeschlossene Organismen äußerst schnell verfault oder später durch kieselsäurereiche Lösungen ausgelaugt worden waren. Es ist also wahrscheinlich, daß eine reichere präcambrische Fauna nur an solchen Stellen entdeckt werden kann, wo während dieser Zeit gebildete, kalkige oder feinschlammige Sedimente noch erhalten sind, vielleicht in Gegenden, die von den bis jetzt am genauesten untersuchten weit entfernt liegen. Während nun in den jüngsten präcambrischen Formationen solche Sedimente meistens fehlen, sind sie in den älteren an mehreren Stellen vorhanden. Diese sind aber oft so stark metamorphosiert, daß die eventuell hier vorgefundenen fossilen Reste wieder zerstört worden sind.

Also wären die Ursachen der Fossilienarmut des Präcambriums hauptsächlich geographischer und geotektonischer Art und gewissermaßen als zufällig anzusehen. Auch in weit jüngeren Formationen zeigen die Entwickelungsserien der Organismen zuweilen sehr große Lücken, so z. B., wie Steinmann hervorgehoben hat, unterhalb des Trias-Systems, in welchem Anfangs auch hauptsächlich terrigene Sedimente vorkommen. Ueberhaupt wird ja die sprichwörtlich gewordene Lückenhaftigkeit des geologischen Dokumentenmaterials immer größer, je tiefer man in der Lagerreihe kommt. Die untersten Teile derselben sind ja in größerem Maße als die oberen von anderen Formationen bedeckt und dadurch unseren Augen verhüllt worden. Hier wenn irgendwo gilt das Wort von der Geologie als einem Buch, aus welchem viele Blätter herausgerissen und zerstört worden sind.

Noch kann ein unerwarteter neuer Fund unsere Vorstellungen auf diesem Gebiete plötzlich verändern. In jedem Falle sind wir noch nicht berechtigt, hier eine Ignorabimus-Erklärung abzugeben, ehe die ganze Erde durchforscht ist.

Während der Drucklegung dieser Artikel erhielt Verfasser den Bericht Lawsons und Walcotts über die von ersterem entdeckten und von letzterem näher beschriebenen Fossilien im Kalkstein vom Steeprock Lake in Ontario. Sie bestehen aus wenigstens zwei verschiedenen Arten der neuen Gattung Atikokania, welche eine Organismengruppe repräsentiert, die mit den Spongien verwandt ist und möglicherweise Charaktere von diesen und den Archäocyathinen vereinigt. Das Versteinerungsmaterial ist zum Teil Kalkspat, zum Teil sind die Organismen mehr oder weniger vollständig verkieselt. Sie erscheinen auf der verwitterten Oberfläche des Gesteins als meistens radialstrahlige zirkelrunde Bildungen (vgl. Fig. 3) mit einem Durchmesser von

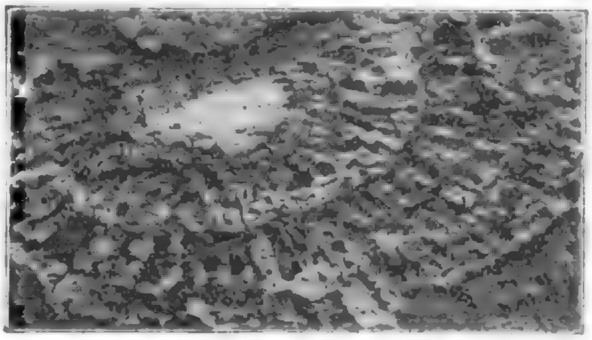


Fig. 3. Atikokania Lawsoni. Nach Walcott. Vergrößerung 1,8 mal.

2,5 bis 3,8 cm. Die wechselnde Größe scheint zum Teil darauf zu beruhen, daß die Schnitte verschiedene Teile der füllhornförmigen Organismen durchquert haben.

Der Kalkstein geht nach unten in ein Konglomerat über und zeigt deutliche diskordante Schichtung. Es ist also eine Seichtwasserbildung.

Das Alter der Steeprock-Serie wird von den kanadischen Geologen H. L. und W. H. C. Smyth, Coleman und Lawson als archäisch bezeichnet, indem sie dieselbe mit dem Keewatin vereinigen. Van Hise und Leith wollen sie dagegen dem unteren Huron zurechnen.

Da nun die Gründe für die Fossiliennatur des Atikokania Lawsoni für die Verfasser überzeugend erscheinen und von der bedeutenden Autorität Walcotts gestützt werden, scheint also hier schon ein Beweis dafür vorzuliegen, daß die ganze proterozoische („progonozoische") Gruppe und wahrscheinlich auch ein Teil des Archäicums wirklich fossilienführend ist.

4. **Homotaxie und allgemeine Einteilung.** Solange nun vorläufig in den meisten präcambrischen Formationen jegliches Fossil fehlt, können sie hauptsächlich nur nach ihrer petrographischen Beschaffenheit miteinander parallelisiert werden. Die Anwendung dieses Kriteriums muß aber mit großer

Digitized by Google

Vorsicht geschehen. Man kann hierbei hauptsächlich nur auf solche primäre Eigenschaften der Sedimente Rücksicht nehmen, welche durch weitgehende klimatologische Verschiedenheiten verursacht werden. Diese können in einem Falle eine äußerst schnelle und vollständige Verwitterung bei gleichzeitiger Bildung eisenschüssiger Reste bedingen, während in anderen Fällen Moränen, feldspatreiche Arkosen, Tone mit ausgeprägtem Schichtenwechsel usw. entstehen, wie sie in jüngeren Glazialformationen vorkommen. Weiter ist es wohl möglich, daß Veränderungen in der vulkanischen Tätigkeit und dem stofflichen Bestande der Auswurfprodukte gleichzeitig über die ganze Erde hin stattfinden können, in welchem Falle auch die Eruptivgesteine für die Parallelisierung benutzt werden könnten.

Gegenwärtig kann man nur ganz hypothetisch einige der jüngsten präcambrischen Formationen verschiedener Gegenden mit einander parallelisieren. So liegt es nahe, den Sparagmit Norwegens mit dem torridonischen Sandstein Schottlands zu parallelisieren. Beiden kann vielleicht auch das Keweenawan Amerikas zur Seite gestellt werden. Wenn nun weiter das obere Huron (Animikie) mit dem Jotnium, das mittlere Huron mit den jatulischen, das untere Huron mit den kalewischen Formationen Nordeuropas (welche letzteren dort dem Archäicum zugerechnet werden) eine gewisse Analogie zeigen, so ist diese jedoch nicht ausgeprägt genug, um noch eine Parallelisierung zu berechtigen. Es läßt sich auch denken, daß denselben Formationen, die in Europa überall gefaltet und demgemäß mehr oder weniger stark metamorphosiert worden sind, in Nordamerika solche Ablagerungen entsprechen können, welche noch fast ungestört liegen, oder umgekehrt, daß amerikanische kristalline Formationen schwach umgewandelten in Europa gleichwertig sein können. Denn während aller Zeiten müssen die Faltungsbewegungen der Erdrinde doch mehr oder weniger lokal gewesen sein, so daß die Sedimentformationen einer Gegend davon betroffen, während andere ganz unberührt gelassen wurden.

Auch die großen Diskordanzen können niemals universell gewesen sein. Wohl konnten während der großen geologischen Zykel die Erosions- und Sedimentationsprozesse mit wechselnder Stärke vor sich gehen, aber zu keiner Zeit der Erdgeschichte hat die Sedimentation gleichsam auf ein Signal aufgehört, sondern sie hat stets irgendwo an den Mündungen der Flüsse stattgefunden, wo also neue, die älteren konkordant oder diskordant bedeckende Sedimente abgelagert wurden. Man kann somit nicht erwarten, daß eine „magische" Fläche das Cambrium von den präcambrischen Ablagerungen überall auf der Erde trennt, und ebensowenig daß sie gegeneinander durch solche Flächen begrenzt werden. Während in gewissen Teilen des Erdballs präcambrische Kontinente existierten, fand an anderen Stellen gleichzeitig Sedimentation statt.

Da es also mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, auch nur provisorisch eine allgemeine für die ganze Erde geltende Einteilung der präcambrischen Formationen aufzustellen, so ist es nicht zu verwundern, daß auch die Nomenklatur noch wenig bestimmt ist.

Ziemlich allgemein ist man sich darüber einig, daß wenigstens eine neue, zwischen dem Paläozoicum und dem Archäicum liegende Gruppe geschaffen werden muß. In Amerika wird dieselbe gewöhnlich mit dem Namen algonkische Gruppe bezeichnet, der auch in anderen Ländern Anwendung gefunden hat. Jedoch werden im allgemeinen nur die Systeme durch solche Lokalnamen bezeichnet, während die Gruppen Namen von theoretischer Bedeutung erhalten haben. Demgemäß will auch Van Hise den Namen proterozoische Gruppe als gleichbedeutend mit der algonkischen anwenden. Andere ziehen den Namen archäozoisch vor. Irving hatte auch noch einen anderen Namen: agnotozoisch, vorgeschlagen, welcher später durch Haug wieder in Anwendung kam. Der Name soll andeuten, daß Organismen aus der betreffenden Aera noch unbekannt sind. Es liegt aber ein gewisser Widerspruch in dieser Benennung; denn sobald im Präcambrium Fossilien entdeckt werden sollten, wäre sie nicht länger anwendbar. Sederholm will die jüngere präcambrische Aera die progonozoische nennen, d. h. die Aera der Vorahnen der Organismen. Die ganze vorcambrische Zeit könnte auch die progonische heißen, welche Hauptabteilung ferner in neoprogonisch, mesoprogonisch und archäoprogonisch eingeteilt werden könnte.

In jedem Falle wird man wohl in Zukunft eine Nomenklatur dieser ältesten Formationen schaffen, welche ihre relative Selbständigkeit gegenüber den jüngeren fossilienführenden Formationen hervorhebt. Die Geschichte ersterer verhält sich zu derjenigen der letzteren, wie die Vorgeschichte der Menschheit zu der durch schriftliche Dokumente beleuchteten Weltgeschichte. Die vorcambrische Geologie ist die Archäologie der Erde.

5. **Erze. Mineralien.** Die jüngeren präcambrischen Formationen sind besonders reich an Erzen und anderen nützlichen Mineralien.

Digitized by Google

Im Keweenawan beim Lake Superior findet man die bekannten ungeheuer großen Kupfererzvorkommnisse, welche aus gediegenem Kupfer bestehen, das im Zusammenhang mit Diabaseruptionen gebildet wurde.

Die huronischen Ablagerungen derselben Gegenden, besonders die oberste Abteilung derselben, beherbergen oft mächtige Einlagerungen von Hämatit und Limonit, welche aus der nahe an der Erdoberfläche stattgefundenen Umwandlung von schichtigen Eisencarbonaten entstanden sind. Diese Vorkommnisse treten besonders in Minnesota und Michigan auf. Sie liefern zusammen mehr als $^3/_4$ der Eisenerzproduktion der Vereinigten Staaten. Auch auf der kanadensischen Seite kommen ähnliche Erze im Huron vor, während dagegen die meisten magnetischen Erze archäischen Alters sind. Viele andere Erzvorkommnisse können je nach der Definition entweder dem Archäicum oder dem „Algonkium" zugezählt werden. Zum letzteren werden jetzt das reiche aus Kupferkies und nickelschüssigem Magnetkies bestehende, am Rande eines großen Eruptivmassives auftretende Erzvorkommnis von Sudbury und ferner die schmalen, aber äußerst reichen Silber-Kobaltadern von Cobalt, welche im Zusammenhang mit huronischen Diabasen entstanden sind, gerechnet.

Ziemlich erzarm sind dagegen die jüngeren präcambrischen Formationen von Nordeuropa. Jotnischen Alters ist das Kupfererzvorkommnis von Pitkäranta am Ladoga. Im südlichen Rußland enthalten die betreffenden Formationen das reiche Eisenglanzvorkommen von Kriwoi-Rog, eins der wichtigsten Erzfelder Rußlands.

Literatur. **L. Cayeux,** *Les preuves de l'existence d'organismes dans le terrain précambrien. Bull. de la Soc. géol. de France III Sér. T. XXV.* — **A. P. Coleman,** *The History of the Canadian Shield. Brit. Assoc. for the Adv. of Science 1910.* — **Derselbe,** *The Lower Huronian Ice Age. Journal of Geology Bd. 17, Nr. 2.* — **Reginald A. Daly,** *First Calcareous Fossils and the Evolution of the Limestones. Bull. Geol. Soc. Amer. Bd. 20, S. 153. 1909.* — **Derselbe,** *Some Chemical Conditions in the Pre-Cambrian Ocean. Compte rendu du Congrès intern. géol. de Stockholm 1910.* — **B. Frosterus,** *Bergbyggnaden i syd-östra Finland (Deutsches Referat). Bull. Comm. géol. de Finlande Nr. 13, 1902.* — **E. Haug,** *Traité de Géologie. Paris 1908 bis 1909.* — **A. G. Högbom,** *Precambrian Geology of Sweden. Bull. Geol. Inst. Upsala X, 1910.* — **E. Kayser,** *Lehrbuch der Geologie. Stuttgart 1907 bis 1908.* — **B. N. Peach, John Horne usw.,** *The Geological Structure of the North-West Highlands of Scotland. Mem. of the Geol. Survey of Great Britain 1907.* — **Andrew C. Lawson,** *The Geology of Steeprock Lake, Ontario. Memoir Geol. Survey of Canada No. 28.* — **W. Ramsay,** *Ueber die präcambrischen Systeme im östlichen Teile von Fennoscandia. Neues Jahrbuch f. Min. u. Geologie 1907, Nr. 2.* — **Derselbe,** *Geologins grunder. Helsingfors 1909.* — **H. Reusch,** *Det nordlige Norges geologi. Norges geol. unders. 1891.* — **J. J. Sederholm,** *Les roches préquaternaires de la Finlande. Atlas de Finlande 1910.* — **Derselbe,** *Subdivision of the Pre-Cambrian of Fenno-Scandia. Compte Rendu du Congrès intern. géol. de Stockholm 1910.* — **Derselbe,** *Les vestiges de la vie dans les formations progonozoïques. Ibidem.* — **F. Schmidt,** *Ueber eine neuentdeckte untercambrische Fauna in Estland. Mém. Acad. Imp. des Sciences de St. Pétersbourg 1888.* — **G. Steinmann,** *Die cambrische Fauna im Rahmen der organischen Gesamtentwickelung. Vortr. auf dem 11. intern. Geologenkongreß in Stockholm. Geologische Rundschau 1910.* — **C. R. Van Hise und C. K. Leith,** *Pre-Cambrian Geology of North America. Bull. U. S. Geol. Survey Nr. 360.* — **C. D. Walcott,** *Pre Cambrian Fossiliferous Formations. Bull. Geol. Soc. America Bd. 10.* — **Derselbe,** *Abrupt Appearance of the Cambrian Fauna on the North American Continent. Smithsonian miscellaneous collections Bd. 57, Nr. 1.* — **Derselbe,** *Notes on Fossils from Limestone of Steeprock Lake, Ontario. Memoir Geol. Survey of Canada No. 28.* — **Bailey Willis,** *Research in China. Bd. 1. Carnegie Inst. 1907.* — **G. A. Young,** *A descriptive Sketch of the Geology and economic Minerals of Canada. Geological Survey of Canada.*

J. J. Sederholm.

Präparative Arbeiten.

Einleitung. 1. Allgemeines: Zweck; Ausbeute; Reinigungsmethoden; Reinheit der Präparate; Kriterien der Einheitlichkeit (chemischen Individualität). 2. Wichtige allgemeine Reaktionen: Oxydation; Reduktion; Addition (Anlagerung); Abspaltung; Substitution (Ersatz, Austausch); Kondensation; Spaltung; Polymerisation und Depolymerisation; Umlagerung (Isomerisation); Umwandlung; Aufbau (Synthese) und Abbau; Katalyse. 3. Reaktionen und Formarten: Einwirkung von Gasen auf Gase, Flüssigkeiten und feste Stoffe; Einwirkung von Flüssigkeiten auf Flüssigkeiten und feste Stoffe; Einwirkung fester Stoffe aufeinander; Einwirkung gelöster Stoffe aufeinander. 4. Reaktionen unter besonderen Versuchsbedingungen: Pyrogenetische Reaktionen; Aktinochemische Reaktionen; Elektropräparative Arbeiten. 5. Darstellung einiger wichtiger Stoffklassen: Darstellung von Elementen; Darstellung von Säuren; Darstellung von Basen; Darstellung von Salzen (einschließlich der Doppelsalze und der komplexen Salze); Darstellung von Verbindungen der Metalloide untereinander.

Einleitung. Eine erschöpfende Darstellung der Verfahren zur präparativen Gewinnung von Stoffen und der ihnen zugrundeliegenden chemischen Prozesse ist von dem hier zu gebenden kurzen Abriß, weil in diesem engen Rahmen unmöglich, nicht

Digitized by Google

zu erwarten. Es kann sich hier nur um eine Uebersicht über die wichtigsten Verfahren von allgemeinerer Bedeutung handeln. Auch ausführliche Anweisungen zu ihrer Handhabung verboten sich. Es muß in dieser Hinsicht auf die am Schlusse mitgeteilte Literatur verwiesen werden, in der alle gewünschte nähere Auskunft zu finden ist.

1. Allgemeines. Zweck. Präparative Arbeiten können zur Darstellung neuer Stoffe oder ganzer Stoffklassen dienen, ebenso aber auch zur Gewinnung bekannter Stoffe als Ausgangsmaterial für weitere präparative Zwecke oder für anderweitige, insbesondere auch physikochemische Untersuchungen. Hierbei ist in vielen Fällen auf besonders große Reinheit der Präparate der größte Wert zu legen. Ungenügende Reinheit kann ebenso wie nicht genügende Beachtung der Versuchsbedingungen unter Umständen die mühevollsten Arbeiten wertlos machen.

Ausbeute. Nur ausnahmsweise bildet sich aus dem Ausgangsmaterial der gewünschte Stoff quantitativ d. h. in derjenigen Menge, die nach den stöchiometrischen Beziehungen der betreffenden Stoffe theoretisch im günstigsten Falle möglich ist. Die Ausbeute, die relative Menge des gewonnenen Stoffes, ist dann „die theoretische" oder „quantitativ". In der Regel geht aber etwas Ausgangsmaterial für den eigentlichen Zweck verloren. Das kann einmal seinen Grund in tatsächlichen Substanzverlusten haben (Verflüchtigung, Unmöglichkeit oder Schwierigkeit der Gewinnung aus Lösungen, der Trennung von Begleitern usw.), sodann aber darin, daß das Ausgangsmaterial nicht quantitativ für den beabsichtigten Prozeß ausgenutzt wird, indem sich außer dem gewünschten Stoffe noch andere, „Nebenprodukte", bilden, deren Menge je nach den Versuchsbedingungen verschieden sein kann. Endlich kann auch der gewünschte Stoff, das Endprodukt, teilweise verloren gehen (ebenso wie das Ausgangsmaterial) oder chemisch weiter verändert werden und somit seinerseits wieder (sekundäre) Nebenprodukte liefern. Alle diese Umstände verringern die Ausbeute, so daß sie hinter der Theorie in der Regel zurückbleibt, zuweilen so stark, daß der gewünschte Stoff wegen seiner verschwindend geringen Menge geradezu selbst nur als Nebenprodukt der betreffenden Reaktion angesehen werden muß. Daß derartige Verfahren nicht sehr rationell und auch unökonomisch sind, liegt auf der Hand, und doch gibt es hin und wieder keine besseren. Es ist üblich, die Stoffausbeute in Prozenten der theoretischen auszudrücken, also anzugeben, wieviel Prozent der im günstigsten Falle, bei quantitativer Ausnutzung des Ausgangsmaterials, zu gewinnenden Menge die tatsächlich erhaltene Menge des gewünschten Stoffes ausmacht.

Neben der Stoffausbeute spielt in dem besonderen Falle der elektropräparativen Arbeiten auch die Stromausbeute eine Rolle. Man versteht darunter die Menge des erhaltenen Produktes, bezogen auf die maximale, theoretische Menge, die bei Aufwendung einer bestimmten Elektrizitätsmenge nach dem Prinzip von Faraday gewonnen werden kann, wenn die ganze Elektrizitätsmenge nur zur Erzeugung des gewünschten Stoffes dient. Auch die Stromausbeute ist nur in besonders günstigen Fällen quantitativ (oder theoretisch); häufig muß der Strom noch zu Neben- oder Nachreaktionen dienen. Stromausbeute und Stoffausbeute (beide in Prozenten der theoretischen) fallen bei elektrochemischen Reaktionen durchaus nicht immer zusammen. Es kommt z. B. oft vor, daß zwar die Stoffausbeute praktisch quantitativ ist, während die Stromausbeute längst nicht theoretisch ist. Es ist dies z. B. dann der Fall, wenn Nebenreaktionen verlaufen, die weder Ausgangsmaterial noch Endprodukt angreifen (quantitative Metallabscheidung bei gleichzeitiger Wasserstoffentwickelung, also Stoffausbeute = 100%, Stromausbeute unter 100%). Aber auch andere Verhältnisse sprechen hierbei mit.

Reinigungsmethoden. Da die Reinheit der Präparate für ihre Brauchbarkeit und für den Wert der aus der Untersuchung ihrer Eigenschaften gezogenen Schlüsse von wesentlicher Bedeutung ist, erhellt hieraus auch die Wichtigkeit derjenigen Verfahren, die zur Reinigung der Stoffe zur Verfügung stehen.

Fremde Stoffe (Verunreinigungen) werden in einer der folgenden Weisen entfernt. Nur ausnahmsweise helfen rein mechanische Mittel, wie Filtrieren (von Gasen und Flüssigkeiten), Klären, Schlämmen (fester Körper, evtl. Scheidung nach der Schwebemethode), magnetische Scheidung (fester Körper), nämlich nur dann, wenn es sich um mechanische Gemenge verschiedener Stoffe, nicht um Lösungen, handelt. Vielfach wird aber auch in solchen Fällen eine der folgenden Methoden rascher und sicherer oder auch allein zum Ziele führen. Man benutzt weiterhin die Ueberführung entweder des zu Reinigenden oder des zu Entfernenden in andere Formarten zu Reinigungszwecken. Flüchtige Verunreinigungen werden durch Erhitzen, Evakuieren oder beides zusammen beseitigt (Trocknen), nichtflüchtige Verunreinigungen flüchtiger Stoffe bleiben als Rückstand bei der Destillation des zu Reinigenden zurück (Gewinnung reinen Wassers durch Destillation). Stoffe verschiedener Flüchtigkeit können in geeigneten Fällen durch fraktionierte Destillation bzw. Kondensation praktisch vollständig getrennt werden (viele organische Substanzen, Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff aus Luft). Manchmal genügt partielle Verflüssigung (Reinigung

Digitized by Google

permanenter Gase von leichter zu verflüssigenden Beimengungen durch Abkühlung) bzw. Verdampfung (Auskochen von Flüssigkeiten). Letzteres gilt auch für Vergasung und Kondensation fester Stoffe. Häufig gebraucht wird als Reinigungsmethode das (partielle) Ausfrieren (Gewinnung von Eisessig aus wasserhaltiger Essigsäure), seltener das Seigern (partielles Schmelzen). Feste Stoffen werden zur Reinigung von gelösten Gasen oder überhaupt flüchtigen Stoffen am besten im Vakuum umgeschmolzen.

Sehr wichtig ist die Anwendung von Lösungsmitteln. Man kann damit entweder die Verunreinigung durch Auflösung entfernen oder den zu reinigenden Stoff. Als Beispiele sind zu nennen die Reinigung von Gasen (Trocknen mit Schwefelsäure), die Trocknung von Flüssigkeiten mit Trockenmitteln, das Ausschütteln von Flüssigkeiten mit geeigneten Lösungsmitteln, das Extrahieren und Auslaugen fester Stoffe sowie das Perforieren flüssiger, die Auflösung fester und flüssiger Substanzen in geeigneten Lösungsmitteln zur Trennung von schwer löslichen Verunreinigungen, endlich das überaus häufig angewandte Umkristallisieren, eine Art umgekehrter Auslaugung.

Vielfach ist es zweckmäßig oder sogar nötig, die Verunreinigung durch chemische Reaktionen in andere Stoffe überzuführen, deren Eigenschaften eine Trennung erleichtern oder erst möglich machen. Hierher gehört die Absorption gasförmiger Stoffe aus Gasgemengen unter Bildung schwerflüchtiger Substanzen, überhaupt die Verwandlung leichtflüchtiger Stoffe in schwerflüchtige oder umgekehrt. Analog werden aus leicht löslichen Stoffen schwerlösliche erzeugt (Ausfällung von Verunreinigungen), schwerlösliche in leichtlösliche, chemisch schwer angreifbare in leicht angreifbare verwandelt (Aufschließung). Aus isomorphen Verunreinigungen können durch chemische Umwandlung nicht isomorphe gebildet werden, wodurch ihre Beimischung beim Auskristallisieren verhindert wird (Entfernung des Eisengehaltes im Kupfervitriol). Edlere Elemente kann man von unedleren befreien, indem man sie mit Verbindungen des edleren Elementes behandelt (Reinigung des Quecksilbers von unedlen Metallen durch Schütteln mit Mercurosalzlösung; Reinigung des Jods von Chlor durch Sublimation mit Jodkalium).

Das radikalste Mittel ist die chemische Umwandlung auch der zu reinigenden Stoffe. Man führt sie in Substanzen über, die wegen besonders günstiger Eigenschaften sich besser zur Reinigung eignen, denen vielleicht auch besser zu entfernende Verbindungen der Verunreinigung entsprechen. Solche Methoden sind namentlich bei den zur Gewinnung allerreinster Stoffe (für Atomgewichtsbestimmungen usw.) dienenden präparativen Arbeiten viel in Gebrauch.

Reinheit der Präparate. Kriterien der Einheitlichkeit (chemischen Individualität). Ob ein Präparat rein ist, erkennt man, wenn der Stoff bereits bekannt, durch die Prüfung seiner Eigenschaften. Abgesehen von der Farbe, die durch auch nur geringe Verunreinigungen in merklicher Weise verändert werden kann, sind in erster Linie Schmelzpunkt und Siedepunkt zu nennen, ferner eventuelle Umwandlungspunkte polymorpher Stoffe. Die Bestimmung des Schmelzpunktes ist ein wegen seiner Bequemlichkeit und Genauigkeit bevorzugtes Prüfungsmittel. Unreine Stoffe zeigen auch gewöhnlich unscharfe Schmelzerscheinungen, d. h. Schmelzen über ein größeres Temperaturintervall hin, während reine Stoffe, falls sie sich nicht beim Schmelzen zersetzen, scharf, d. h. bei einer ganz bestimmten Temperatur, z. B. innerhalb eines Grades oder von Bruchteilen eines Grades, schmelzen.

Zu diesen physikochemischen Methoden gehören noch weitere Verfahren, wie Messung der elektrischen Leitfähigkeit, Prüfung auf katalytische Eigenschaften und andere, die gleichfalls nur in günstigen Fällen Anwendung finden können. Fehlt es an einem geeigneten Prüfungsverfahren dieser Art, oder kommt es auf den Nachweis von Spuren einer Verunreinigung an, so wird man chemisch-analytische Methoden anwenden, die bis auf wenige Fälle den erstgenannten Verfahren an Empfindlichkeit überlegen sind. Man unterwirft entweder die zu prüfende Substanz einer quantitativen Analyse und stellt so fest, ob sie die richtige Zusammensetzung hat, oder nimmt mit ihr qualitative Prüfungen auf bestimmte Verunreinigungen vor. Der Kreis der möglichen Fremdstoffe ist ja gewöhnlich ziemlich eng, und die Prüfung beim Vorhandensein genügend empfindlicher Reaktionen sehr scharf.

Für die am meisten gebrauchten Stoffe findet sich eine Zusammenstellung der vorkommenden Verunreinigungen und der Methoden zur Prüfung darauf in dem Buche von Krauch: Die Prüfung der chemischen Reagentien auf Reinheit, Berlin. Auch das Deutsche Arzneibuch gibt viele für den Chemiker wertvolle Anhaltspunkte.

Viel schwieriger pflegt in zweifelhaften Fällen die Entscheidung zu sein, ob eine Substanz ein einheitlicher Stoff (chemisches Individuum) oder eine Lösung verschiedener Stoffe (die Trennung von mechanischen Gemengen bietet keine Schwierigkeit) ist. Es gibt dafür eine ganze Reihe von Anhaltspunkten. Wenn die Substanz auch nach der Anwendung der verschiedensten Reini-

Digitized by Google

gungsmethoden immer den gleichen Schmelzpunkt und Siedepunkt behält, auch durch die ganze Masse hindurch bei konstanter Temperatur scharf schmilzt und vollständig bei konstanter Temperatur destilliert, so geht daraus die Gleichheit der Zusammensetzung in allen drei Formarten hervor, und diese macht die chemische Einheitlichkeit schon ziemlich wahrscheinlich. Doch sind auch Fälle ausgezeichneter Lösungen denkbar, welche in dieser Hinsicht einheitliche Stoffe vortäuschen können. Dann werden aber durch andere Temperatur- und Druckverhältnisse Unterschiede hervorgerufen, die bei chemischen Individuen nicht auftreten. Freilich ist hierbei noch darauf zu achten, daß die Existenzgrenzen des betreffenden Stoffes nicht überschritten werden, er also keine Zersetzungen, Umlagerungen und sonstigen Umwandlungen erleidet. Manche Stoffe sind überhaupt nicht in reinem Zustande zu erhalten, sondern spalten sich unter allen Umständen mindestens teilweise in Komponenten. Zur Feststellung, ob diese Komponenten überhaupt eine Verbindung geben, und in welchen stöchiometrischen Verhältnissen, wird dann eine Eigenschaftskurve aufgenommen, d. h. irgendeine möglichst charakteristische Eigenschaft, oder besser mehrere, in ihrem Zusammenhange mit der Zusammensetzung der Mischungen vom reinen Stoffe A bis zum reinen B dargestellt. Verbindungen pflegen sich durch ausgezeichnete Punkte in der so erhaltenen Kurve zu verraten. Von allgemeinerer Anwendbarkeit ist die Aufnahme einer Schmelzpunktskurve; aber auch andere Eigenschaften, wie Dichte, innere Reibung (bei Flüssigkeiten), elektrische Leitfähigkeit u. a. lassen sich nebenher für den gleichen Zweck verwenden. Thermische Effekte, Volumänderungen und andere qualitative Anzeichen lassen manchmal im Stich. Dagegen gibt häufig eine ungewöhnliche Erhöhung der Löslichkeit einen Anhalt für das Auftreten von Verbindungen mit dem löslichkeiterhöhend wirkenden Stoffe. Gewisse Aufschlüsse können auch Molekulargewichtsbestimmungen im Gaszustande oder in dem der Lösung ergeben. Auch hier ist aber mit mancherlei Störungen zu rechnen. Schlimm steht es im allgemeinen, wenn die Komponenten in flüssigem wie in festem Zustande ineinander und mit der Verbindung unbegrenzt löslich und womöglich noch isomorph sind. Dann kann sowohl die Erkennung von Verbindungen, ebenso aber auch die Reindarstellung der Komponenten aufs äußerste erschwert werden. Für letzteren Zweck leistet z. B. im Falle der Spaltung von Gemischen sehr ähnlicher Elemente oder der Gemische ihrer Verbindungen oft die Spektralanalyse ausgezeichnete Dienste. Veränderungen der Spektra bei systematischer Fraktionierung weisen auf Nichteinheitlichkeit hin. Immerhin zeigt die Geschichte der Entdeckung neuer Elemente und der Spaltung vermeintlicher Elemente in mehrere Komponenten, daß die hierbei zu überwindenden Schwierigkeiten zuweilen außerordentlich groß sind. Als Prüfungsmethode, die mit der Aufnahme der Schmelzpunktskurve nahe zusammenhängt und die latente Wärme des Erstarrungsprozesses benutzt, sei noch die thermische Analyse genannt. In vielen Fällen läßt schon das Ergebnis der chemischen Analyse, das zur Aufstellung einer Formel für die vermutete Verbindung führt, einen gewissen Schluß auf chemische Individualität zu. Ungewöhnlich komplizierte Formeln betrachtet man in der Regel mit Recht nur mit gewissem Mißtrauen.

2. Wichtige allgemeine Reaktionen.

2a) Oxydation. Unter Oxydation versteht man nicht nur die Verbindung mit Sauerstoff, also z. B. die Bildung von Oxyden aus den Elementen, von sauerstoffhaltigen oder sauerstoffreicheren Verbindungen aus sauerstofffreien oder sauerstoffärmeren, sondern auch die Ueberführung von Verbindungen einer niederen Wertigkeitsstufe in solche einer höheren, z. B. von Ferrosalzen in Ferrisalze, vom Manganaten in Permanganate, endlich auch die Wegnahme von Wasserstoff aus einer Verbindung (Kohlenstoff aus Kohlenwasserstoffen unter Bildung von Wasser oder anderen Wasserstoffverbindungen), sowie die Entziehung von negativen Ladungen bei einem Anion (Brom aus gelösten Bromiden).

Die Oxydation erfolgt durch Einwirkenlassen von Oxydationsmitteln unter den verschiedensten Versuchsbedingungen, bei gewöhnlicher Temperatur oder sogar unter Kühlung, in mäßiger Wärme oder schließlich in Glühhitze; ferner werden manche Stoffe zweckmäßig in reinem Zustande, andere wieder in Form einer Lösung oxydiert. Allgemeine Regeln dafür gibt es nicht. In manchen Fällen führt die Oxydation zu einem ausgesprochenen Gleichgewichtszustande und erfordert rasche Aenderung der Versuchsbedingungen, wenn das Reaktionsprodukt nicht sogleich wieder rückwärts zerfallen soll („Abschreckung").

Es sollen nun einige Beispiele von Oxydation folgen, aus denen sowohl die Art der verschiedenen Oxydationsmittel als auch die bevorzugten Bedingungen ihrer Anwendung hervorgehen.

Oxydation mit Sauerstoff oder Luft: feuchter Phosphor → Unterphosphorsäure und andere Verbindungen; ammoniakalische Kobaltlösungen → Kobaltiamine; Aethylalkohol → Essigsäure (Mitwirkung niederer Organismen: Essiggärung); Quecksilber → Quecksilberoxyd (Erhitzen zum Sieden in Luft); Bariumoxyd → Barium(su)-

peroxyd (Erhitzen in Luft auf 450 bis 550°); Kupfer → Kupferoxyd (Glühen in Luft); Schwefel → Schwefeldioxyd und Phosphor → Phosphorpentoxyd (Verbrennen in Luft); Schwefeldioxyd → Schwefeltrioxyd (Erhitzen mit Sauerstoff auf etwa 400° unter Mitwirkung eines Katalysators, wie Platin usw.); Stickstoff → Stickoxyd (Erhitzung von Luft in dem extrem heißen Hochspannungs-Flammenbogen und rasche Abschreckung durch Abkühlen). — Oxydation mit sauerstoffabgebenden Oxydationsmitteln: arsenige Säure → Arsensäure (mit Salpetersäure); Jodwasserstoff → Jod (mit salpetriger Säure); Bromide → Brom; Alkohole → Aldehyde; Alkohole → Säuren; Hydrochinon → Chinon (mit Chromsäure bezw. Bichromat und Schwefelsäure); Naphtalin → Phtalsäure (mit Permanganat); Arsine → Arsinsäuren (mit Wasserstoffperoxyd); Nickelhydroxydul → Nickelhydroxyd (mit Hypobromitlösung); Chlorwasserstoff → Chlor (mit Mangansuperoxyd oder Permanganat); Chromverbindungen — Oxyde und Salze — → Chromat und entsprechend Manganverbindungen → Manganat (Schmelzen mit Alkalien [oder Alkalicarbonaten] und Oxydationsmitteln, wie Nitraten, Chloraten, Natrium(su)peroxyd). — Oxydation mit nicht sauerstoffabgebenden Oxydationsmitteln: Manganat → Permanganat (mit Chlor); Mercaptane → Disulfide und Thiosulfat → Tetrathionat (mit Jod); manche hydrierte Basen → dehydrierte Basen (mit Ferrisalzen oder Ferricyaniden).

Manche Stoffe oxydieren sich selbst und geben dabei natürlich nebenher Reduktionsprodukte, so z. B. Chlorat → Perchlorat neben Chlorid (beim Erhitzen bezw. Schmelzen); Hypochlorit → Chlorat neben Chlorid (beim Erwärmen bezw. Kochen der Lösung); Benzaldehyd → Benzoesäure neben Benzylalkohol (beim Behandeln mit wässerigem Kali); Mangansäure → Permangansäure neben Mangandioxyd (beim Ansäuern wässeriger Manganatlösungen).

Zu erwähnen ist, daß die oxydierende Wirkung sauerstoffabgebender Oxydationsmittel in wässeriger Lösung durch Ansäuern verstärkt, durch Alkalisieren abgeschwächt wird. Daher sind manche Säuren zwar selbst Oxydationsmittel, nicht aber die neutralen oder gar alkalischen Lösungen ihrer Salze (Salpetersäure, Chromsäure).

Ueber elektrochemische Oxydation siehe unten den Abschnitt „Elektropräparative Arbeiten“. — Vgl. außerdem den Artikel „Oxydation“.

2b) Reduktion. Die Reduktion ist die der Oxydation entgegengesetzte Reaktion. Sie besteht also in der Entziehung von Sauerstoff, in der Anlagerung oder Einführung von Wasserstoff, oder auch beiden Reaktionen zusammen, in der Ueberführung von Verbindungen höherer Wertigkeitsstufen in solche niederer, in der Wegnahme positiver Ladungen von Ionen (Metalle aus Metallionen) oder der Zuführung negativer Ladungen (Halogen in Halogenion). Die Reduktionsmittel sind demnach Stoffe, die selbst Sauerstoff aufnehmen oder Anionenbildner wie auch positive Ladungen binden können, ferner solche, die Wasserstoff oder negative Ladungen abgeben bezw. mit geeigneten Reagentien (Wasser, Säuren u. a.) Wasserstoff entwickeln. Auch für die Reduktion sind die mannigfaltigsten Bedingungen günstig, je nach dem besonderen Fall. Es folgen einige Beispiele von Reduktionen, welche die Mannigfaltigkeit der Möglichkeiten erläutern sollen.

Reduktion durch bloßes Erhitzen Quecksilberoxyd → Quecksilber (neben Sauerstoff); Bleisuperoxyd → Bleioxyd (neben Sauerstoff); Platinchlorid → Platin (neben Chlor). Reduktion mit sauerstoffbindenden Reduktionsmitteln (ausschließlich Wasserstoff): Eisenoxyde → Eisen; Zinndioxyd → Zinn; Kaliumcarbonat → Kalium; Phosphate → Phosphor; Kohlendioxyd → Kohlenoxyd (Glühen mit Kohlenstoff bezw. unreiner „Kohle“); Eisenoxyde, Manganoxyde, Oxyde anderer schwerflüssiger Metalle → Metalle (mit Aluminium im „aluminothermischen Verfahren“ bei intensivster Weißglut); Siliciumdioxyd → Silicium (Glühen mit Magnesium); Kaliumnitrat → Kaliumnitrit (Schmelzen mit Blei); selenige Säure → Selen (Erwärmen der Lösung mit schwefliger Säure); Alkohole → Kohlenwasserstoffe (Erhitzen mit Jodwasserstoff); Bleioxyd bezw. Bleisulfat → Blei (Schmelzen mit Bleisulfid); Silbersalze → Silber (Erwärmen mit Aldehyden in wässeriger Lösung). — Reduktion mit Wasserstoff und wasserstoffentwickelnden Reduktionsmitteln ohne Hydrierung (Wasserstoffaufnahme): Kupferoxyd → Kupfer und Eisenoxyde → Eisen (Glühen im Wasserstoffstrome); aromatische Alkohole → Kohlenwasserstoffe (mit Natrium in alkoholischer Lösung); Nitroverbindungen → Azoverbindungen (mit Natriumamalgam in alkoholischer Lösung, durch Kochen mit Zinkstaub und Lauge); Bichromat → Chromosalz (mit Zink und Säure). Reduktion mit Hydrierung: Stickstoff → Ammoniak (Erhitzen mit Wasserstoff unter Druck bei Gegenwart eines Katalysators, wie Osmium); ungesättigte Kohlenwasserstoffe und andere ungesättigte organische Verbindungen → gesättigte Verbindungen (Erhitzen der Dämpfe mit Wasserstoff in Gegenwart eines Katalysators, wie Nickelpulver usw., z. T. auch schon bei gewöhnlicher Temperatur); Säuren → Aldehyde (Erhitzen der Kalksalze mit Calciumformiat); Ketone → Alkohole (mit Aluminiumamalgam, Zinkstaub und Alkali, Natrium); ungesättigte Ketone und Säuren → gesättigte Ketone und Säuren (mit Natriumamalgam); Nitroverbindungen → Amine (mit Zinn und Säure, mit Zinnchlorür); Chinon → Hydrochinon (mit schwefliger Säure in wässeriger Lösung); Indigo → Indigweiß (mit Hydrosulfit in wässeriger Lösung). Reduktion mit Substanzen, welche Anionenbildner oder positive Ladungen aufnehmen, negative abgeben: Quecksilberchlorid → Quecksilberchlorür (Verreiben und Sublimieren mit Quecksilber); Silbersalze → Silber (Fällung der Lösungen mit Zink oder mit Ferrosalzen); Goldsalze → Gold (Fällung der Lösungen mit Oxalsäure in der Wärme); Jod → Jodwasserstoff (Einwirkung von Jod auf Schwefelwasserstoff in wässeriger Lösung).

Ebenso wie zu Oxydationen kann auch zu Reduktionen der elektrische Strom benutzt

Digitized by Google

werden (s. unten den Abschnitt „Elektropräparative Arbeiten").

Sauerstoffaufnehmende Reduktionsmittel wirken an sich in alkalischer Lösung energischer als in neutraler oder gar in saurer; daß die Reduktion immer in diesem Sinne begünstigt werden muß, ist damit noch nicht gesagt, denn es kommt dabei noch auf die Natur des zu Reduzierenden, das also als Oxydationsmittel wirkt, an (s. den vorigen Abschnitt). — Vgl. auch den Artikel „Reduktion".

2c) Addition (Anlagerung). Hierunter ist eine glatte Vereinigung eines Stoffes mit einem zweiten, also ohne gleichzeitige Abgabe von Nebenprodukten der Reaktion, zu verstehen. Hierzu gehört auch eine Anzahl der schon unter Oxydation und Reduktion besprochenen Prozesse, nämlich die Oxydation durch einfache Aufnahme von Sauerstoff und die einfache Hydrierung. Auch Halogene und andere Elemente werden leicht addiert, desgleichen zusammengesetzte Stoffe (s. auch den Artikel „Ungesättigte Verbindungen").

Beispiele: Aluminium → Aluminiumchlorid, Phosphor → Phosphortrichlorid, Zinn → Zinntetrachlorid (Erhitzen bezw. Erwärmen im Chlorstrome); Kohlenoxyd → Kohlenoxychlorid (Vereinigung von Kohlenoxyd und Chlor im Lichte oder beim Ueberleiten über Tierkohle); Aethylen → Aethylenbromid (Einleiten von Aethylen in Brom); Gold oder Platin → Chloride (Auflösung in „Königswasser"); Eisen → Schwefeleisen (Erhitzen mit Schwefel); Sulfide → Polysulfide, Sulfite → Thiosulfate (Auflösen von Schwefel in der wässerigen Lösung, besonders beim Erwärmen); Calcium → Calciumnitrid (Erhitzen im Stickstoffstrome); ungesättigte organische Verbindungen → Halogenderivate gesättigter (Anlagerung von Halogenwasserstoff); Ammoniak → Ammoniumsalze (Addition an Säuren, auch an Säureanhydride, wie Kohlendioxyd; letzteres gibt dabei Ammoniumcarbamat); Salze → Metallamine (Addition von Ammoniak an die Salze, z. B. in wässeriger Lösung); Aethylen → Aethylschwefelsäure (Einleiten in rauchende Schwefelsäure); Thioäther → Sulfoniumhaloide, Alkylphosphine → Phosphoniumhaloide (Addition von Alkylhaloiden); Aldehyde → Aldehydammoniake, Cyanhydrine, Bisulfitverbindungen (Addition von Ammoniak, Cyanwasserstoff, Bisulfiten); Chloral → Chloralhydrat (Addition von Wasser in chemischer Bindung).

2d) Abspaltung. Beim Austreten von Elementen oder zusammengesetzten Stoffen aus einer Substanz spricht man in der Regel dann von Abspaltung, wenn im Reste das Grundelement oder ein bestimmtes Gerüst aus mehreren Elementen erhalten bleibt, der ausgetretene Anteil vielleicht auch nur ein wertloseres oder jedenfalls unwichtigeres Nebenprodukt darstellt; bei organischen Verbindungen handelt es sich meist um den Austritt anorganischer Stoffe oder auch einfacher organischer Gruppen, wobei jedoch keine durchgreifende Zerstörung der Kohlenstoffverkettung erfolgt. Doch ist eine Abgrenzung gegen die „Spaltung", bei der ein tieferer Eingriff in den Molekularverband die Regel ist, nur schwierig durchzuführen. Auch ist hier der Sprachgebrauch noch keineswegs feststehend. Als selbständige Reaktion spielt die Abspaltung keine besonders wichtige Rolle, häufiger kommt sie als Begleitreaktion bei der Kondensation vor (s. weiter unten). In manchen Fällen ist gerade das gewöhnlich als abgespalten aufgefaßte Bruchstück dasjenige, um dessentwillen man die Reaktion ausführt. In den folgenden Beispielen ist im letzteren Falle das gewünschte Produkt durch ein Sternchen gekennzeichnet.

Beispiele: Abspaltung von Sauerstoff*: Quecksilberoxyd → Quecksilber (Erhitzen); Kaliumchlorat → Kaliumchlorid (Erhitzen für sich oder mit gewissen Oxyden, wie Braunstein) [s. auch unter „Reduktion"]. — Abspaltung von Wasser: Metallhydroxyde → Oxyde (beim Erhitzen, manchmal auch schon beim Kochen mit Wasser und selbst bei gewöhnlicher Temperatur: Eisen bezw. Kupfer bezw. Silber); Ammoniumnitrat → Stickstoffoxydul (Erhitzen des trockenen Salzes); Ammoniumnitrit → Stickstoff (Erwärmen der wässerigen Lösung); primäre Alkohole der Paraffinreihe — Olefine (Erhitzen mit wasserentziehenden Mitteln, wie Schwefelsäure, Phosphorsäure usw.); Säureamide → Nitrile (mit wasserentziehenden Mitteln); Ammoniumsalze organischer Säuren → Säureamide (trockene Destillation, z. B. Harnstoff aus Ammoniumcarbamat); Ameisensäure → Kohlenoxyd (Erwärmen mit Schwefelsäure). — Abspaltung anderer Oxyde: Bleinitrat → Bleioxyd (Abspaltung von Stickstoffdioxyd* und Sauerstoff beim Erhitzen); Ferrisulfat → Ferrioxyd (Abspaltung von Schwefeltrioxyd* beim Erhitzen). — Abspaltung von Kohlendioxyd: Carbonate → Oxyde* (+ Kohlendioxyd*, beim Erhitzen); organische Säuren → Kohlenwasserstoffe (Erhitzen der Alkalisalze mit Natronkalk); zweibasische organische Säuren → einbasische (z. B. Oxalsäure → Ameisensäure beim Erhitzen mit Glycerin). — Abspaltung von Halogenwasserstoff: Chlorammonium → Ammoniak (Erhitzen mit gebranntem Kalk); Alkylhaloide → ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Erhitzen mit alkoholischem Kali). — Abspaltung von Cyan*: Quecksilbercyanid → Quecksilber (beim Erhitzen). — Abspaltung von Stickstoff: Diazoniumhaloide → Arylhaloide (Erwärmen mit Kupfer oder Cuprosalzen in saurer Lösung). — Abspaltung von Kohlenstoff: Bildung von Ruß* bei der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen; bei der Reaktion Calciumcarbid → Calciumcyanamid (Glühen im Stickstoffstrome; hier also kombiniert mit einer Additionsreaktion, vgl. unten „Kondensation")

2e) Substitution (Ersatz, Austausch). Definiert man die Substitution als den Austausch eines Bestandteils (Atom oder Atomgruppe) der Molekel gegen einen anderen, so fallen unter diese Art der Reaktion überaus zahlreiche Fälle, die nach dem gewöhnlichen

Digitized by Google

Sprachgebrauch nicht eigentlich dazu gerechnet werden, wie z. B. die Salzbildung aus Säuren und Basen und die vielen wechselseitigen Umsetzungen von Salzen. Gewöhnlich wird der Begriff enger gefaßt; man versteht darunter den Ersatz von Elementen durch andere chemisch nahestehende oder vergleichbare, auf organischem Gebiete eine Art des Austauschs von Atomen oder Atomgruppen gegen andere, bei der der kohlenstoffhaltige Kern der Molekel keine oder doch keine wesentliche Veränderung erleidet. In der organischen Chemie spielt die Substitution für die Gewinnung einer Stoffklasse aus einer anderen eine große Rolle.

Beispiele: Ersatz von Wasserstoff durch Metalle (Salzbildung durch Auflösung von Metallen in Säuren). Austausch von Sauerstoff gegen Schwefel (Schwefeln von Oxyden durch Erhitzen in Schwefelwasserstoff, auch in Schwefeldampf; der umgekehrte Prozeß, der Ersatz von Schwefel durch Sauerstoff beim Rösten von Sulfiden, ist ein Oxydationsprozeß mit Abspaltung von Schwefeldioxyd). Substitution von Wasserstoff durch Halogen und umgekehrt: Kohlenwasserstoffe → Halogenderivate (Einwirkung von Halogen für sich oder in Gegenwart von Katalysatoren, „Ueberträgern", unter Bildung von Halogenwasserstoff); Halogenalkyl → Kohlenwasserstoff (mit Natriumamalgam oder Zink und Säure, Bildung von Halogenwasserstoff bezw. Haloiden). Austausch von Wasserstoff gegen Hydroxyl und umgekehrt fällt unter den Begriff der Oxydation und Reduktion, Substitution von Wasserstoff durch Alkyl unter den der Kondensation. Austausch zwischen Halogen und Hydroxyl: Halogenalkyl → Alkohol (Behandeln mit Wasser in der Hitze oder mit feuchtem Silberoxyd usw.); Alkohol → Halogenalkyl (Einwirkung von Halogenwasserstoff bei Gegenwart wasserentziehender Mittel, Behandeln mit Halogenphosphor oder Halogen + Phosphor). Substitution von Wasserstoff durch die Nitrogruppe: aromatische Kohlenwasserstoffe → Nitroderivate (Behandeln mit Salpetersäure). Ersatz von Wasserstoff durch die Sulfosäuregruppe und umgekehrt: aromatische Kohlenwasserstoffe → Sulfosäuren (Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure, Abspaltung von Wasser); Rückbildung der Kohlenwasserstoffe aus den Sulfosäuren (Erhitzen mit Wasser und Säuren auf höhere Temperaturen, Aufnahme von Wasser, Abspaltung von Schwefelsäure unter Erhitzen). Ersatz der Amidogruppe durch Hydroxyl: primäre Amine und Säureamide → Alkohole bezw. Säuren (Einwirkung von salpetriger Säure, Abspaltung von Wasser und Stickstoff); kernsubstituierte primäre aromatische Amine → Phenole (über die mit salpetriger Säure entstehenden Diazoverbindungen durch Erwärmen ihrer sauren wässerigen Lösungen, Abspaltung von Wasser, Stickstoff und Säure). Austausch zwischen Halogen und der Amidogruppe: Säurechloride → Säureamide (Erhitzen mit wässerigem Ammoniak, Abspaltung von Halogenwasserstoff); kernsubstituierte aromatische Amine → Halogenderivate (über die Diazoverbindungen durch Erwärmen ihrer Salze mit Cuprohaloiden, Abspaltung von Wasser und von Stickstoff). Ersatz von Halogen durch Cyan: Halogenalkyl → Nitril (Erhitzen mit Alkalicyanid, Abspaltung von Alkalihaloid). Esatz der Amidogruppe durch Cyan: kernsubstituierte aromatische Amine → Nitrile (Diazotieren und Erwärmen mit Cuprocyanid, Abspaltung von Wasser, von Stickstoff und von Säure). Austausch von Stickstoff gegen die Gruppe OOH: Säurenitrile → Säuren (Verseifung oder Hydrolyse durch Kochen mit Wasser. Abspaltung von Ammoniak).

Viele andere Substitutionsreaktionen kann man als Kondensationen auffassen, wie z. B. die Veresterung, andere als Spaltungen, wie die Esterhydrolyse (Verseifung) (s. weiter unten). — Vgl. auch den Artikel „Substitution".

2f) Kondensation. Im weitesten Sinne lassen sich hierunter alle Reaktionen zusammenfassen, bei denen durch den Zusammentritt von Verbindungen neue, in der Regel komplizierter zusammengesetzte Stoffe entstehen. Dann wäre aber die Ausdehnung dieses Begriffes fast unbegrenzt, und es ist, obwohl ein fester Sprachgebrauch noch nicht existiert, zweckmäßig, einfache Anlagerungsreaktionen unter dem Begriffe der Addition (s. oben) auszuscheiden; bestehen letztere in der Vereinigung gleichartiger Molekeln zu komplizierteren Gebilden, so spricht man von Polymerisation. Für die Kondensation bleiben dann diejenigen Reaktionen übrig, die auf der Vereinigung gleichartiger oder verschiedenartiger Molekeln unter Austritt (Abspaltung) gewisser Stoffe, wie Wasser, Halogenverbindungen usw., beruhen. Aber auch hier wird vielfach eine noch engere Grenze gezogen, die als eigentliche Kondensationsreaktionen nur solche mit Entstehung neuer Kohlenstoffbindungen umschließt; damit wäre der Begriff der Kondensation auf das organische Gebiet beschränkt, falls man keine Scheidung in organische (nur Kohlenstoffbindung) und anorganische (nur Bindung zwischen anderen Elementen) Kondensation einführen will. Wir wollen hier für das organische Gebiet die Beschränkung auf Reaktionen mit Entstehung neuer Kohlenstoffbindungen fallen lassen; freilich ist dann die Abgrenzung gegen das Gebiet der Substitution etwas willkürlich. Das Uebereinandergreifen einzelner Gebiete kommt aber auch sonst noch vor.

Die Kondensation wird meist sehr wesentlich gefördert durch die Gegenwart gewisser Stoffe, sogenannter Kondensationsmittel. Ihre Wirkung besteht teilweise in einer Bindung des abzuspaltenden Stoffes, wie z. B. des Wassers durch wasserentziehende Stoffe, in anderen Fällen ist sie jedoch katalytischer Art; daß dann die Reaktion durch Freigabe eines Umweges über Zwischenprodukte erleichtert wird, ist mehr als nur wahrscheinlich.

Digitized by Google

So ist denn auch die Wahl des geeignetsten Kondensationsmittels von großer Bedeutung.

Beispiele: Kondensation unter Austritt von Wasser: anorganische Säuren → Polysäuren (Erhitzen der Säuren oder saurer Salze); einbasische Säuren → Säureanhydride (Behandeln mit wasserentziehenden Mitteln, z. T. auch einfaches Erhitzen); Alkohole → Aether (Erhitzen mit Schwefelsäure und anderen Mitteln); Alkohole + Säuren → Ester (Erhitzen für sich oder mit wasserentziehenden bezw. katalysierenden Mitteln); Anilin + Carbonsäuren → Anilide (Erhitzen); Ketone → verschiedene aliphatische und aromatische Kondensationsprodukte (Anwendung verschiedener Kondensationsmittel); Ketone + Carbonsäuren → ungesättigte Säuren (Kondensationsmittel Säureanhydride); Acetessigester + Aldehydammoniake → Pyridinderivate (einfaches Erhitzen); Aldehyde oder Ketone + Hydroxylamin bezw. Hydrazin → Aldoxime oder Ketoxime bezw. Hydrazone. Abspaltung von Halogenwasserstoff: Halogenderivate von aliphatischen Kohlenwasserstoffen + Benzol → Alkylbenzol (Erwärmen mit Aluminiumchlorid u. a. Kondensationsmitteln, auch Zinkstaub). Abspaltung von Halogen: Halogenalkyl → Kohlenwasserstoffe (Einwirkung von Natrium in ätherischer Lösung, von Zink in der Hitze). Abspaltung von Metallhaloid: Alkalisalz + Chlorid derselben Säure → Säureanhydrid (beim Erhitzen). — Abspaltung von Kohlendioxyd: Acetation → Aethan (bei der Elektrolyse von Acetaten an der Anode). Abspaltung von Carbonat: Kalksalze der Säuren → Ketone (bei der trockenen Destillation, Rückstand Calciumcarbonat).

Zu den Kondensationen werden auch Reaktionen gerechnet, die formal Polymerisationen sind, wenn sich dabei eine so tiefgreifende Umlagerung vollzieht, daß eine Umkehrung des Vorgangs nicht mehr möglich ist (Polymerisation von Formaldehyd zu zuckerartigen Substanzen).

2g) Spaltung. Die Spaltung ist eine Zerlegung von Substanzen ohne die für den Begriff der Abspaltung eingeführte Beschränkung. Sie ist die der Kondensation entgegengesetzte Reaktion, umfaßt aber auch Fälle, in denen keine Aufnahme anderer Stoffe oder Reaktion mit solchen erfolgt. Zu letzteren kann man die Umkehrung der Polymerisation, die Depolymerisation, zählen, doch wird diese in der Regel gleich jener als selbständige Reaktionsart aufgefaßt:

Beispiele: Spaltung von Estern in Säuren und Alkohole (auch Hydrolyse oder Verseifung; unter Aufnahme von Wasser, die beim Erwärmen damit, manchmal auch schon in der Kälte, eintritt; katalytisch beschleunigt durch Säuren; starke Beschleunigung durch Lauge; eigentliche Verseifung, z. B. der Fette in Fettsäuren, deren Alkalisalze die Seifen sind, und Glycerin); Verseifung von Säureamiden in Säuren und Ammoniak (beim Ueberhitzen mit Wasser, das dabei aufgenommen wird; Beschleunigung durch Säuren und Laugen); Verseifung von Nitrilen zu Säuren, vgl. „Substitution"; Spaltung (Inversion) des Rohrzuckers unter Wasseraufnahme in Glucose + Fructose (Erwärmen mit verdünnten Säuren; Säure wirkt katalysierend); Spaltung von Hexosen in Alkohol und Kohlendioxyd (alkoholische Gärung der Zucker durch Hefe ohne Wasseraufnahme); Spaltung des Acetessigesters unter Wasseraufnahme in Aceton, Alkohol und Kohlendioxyd (Ketonspaltung beim Kochen mit verdünnter Lauge); Spaltung desselben Esters unter Wasseraufnahme in Essigsäure und Alkohol (Säurespaltung beim Kochen mit starker alkoholischer Lauge); Spaltung von Hydrazonen in Amine (bei der Reduktion unter Wasserstoffaufnahme); Spaltung von Glucosiden in Glucose und einen Alkohol (oder einen Aldehyd bezw. ein Phenol, teilweise auch noch außerdem in Blausäure oder andere Substanzen) durch Einwirkung von verdünnten Säuren oder Laugen unter Wasseraufnahme, auch durch Enzyme (z. B. Amygdalin durch Emulsin); Spaltung anorganischer Polysäuren in gewöhnliche Säuren (Erhitzen mit Wasser); auch die Spaltung anorganischer wie organischer Salze in Säure und Base durch Wasser, namentlich in der Wärme (Hydrolyse) kann man hierher rechnen.

Eine besondere Art von Spaltung ist die Zerlegung von Racemverbindungen in ihre optisch aktiven Komponenten. Letztere scheiden sich aus Lösungen dann einzeln nebeneinander aus, wenn die Löslichkeit des Komponentengemisches unter den gegebenen Versuchsbedingungen kleiner ist als die der Racemverbindung. Hierzu ist das Innehalten gewisser Temperaturen (jenseits der „Umwandlungstemperatur") erforderlich. Die Grenze liegt von Fall zu Fall verschieden. Man trennt nach zweckentsprechendem Auskristallisieren durch Kristallauslese (Unterscheidung durch enantiomorphe Kristallform), kann auch durch Impfung die eine Form bzw. beide nebeneinander züchten. Leichter ist die Spaltung von Racemverbindungen durch selbst optisch aktive Substanzen; es entstehen dann aus den aktiven Komponenten Verbindungen damit von merklich verschiedenen Eigenschaften, z. B. verschiedener Löslichkeit, während die Komponenten selbst wie auch Derivate mit inaktiven Substanzen vollkommene Uebereinstimmung sehr vieler Eigenschaften, z. B. gerade auch der Löslichkeit, zeigen. So können optisch aktive Basen zur Spaltung von racemischen Säuren, optisch aktive Säuren zur Spaltung racemischer Basen benutzt werden usw. Endlich lassen sich Racemverbindungen noch durch gewisse chemische Reaktionen, die vorzugsweise (jedenfalls rascher) die eine Komponente angreifen, spalten. Es handelt sich dabei um die Zerlegung durch die Lebenstätigkeit von Organismen (Hefepilze, Schimmelpilze, Bazillen), also um Gärung. Das Wirksame sind dabei die von jenen Organismen erzeugten Enzyme, die selbst optisch aktiv sind. So hängt diese Art der Spaltung mit der vorhergehenden zusammen. Allgemeine Regeln für die Anwendung des einen oder des anderen Verfahrens gibt es nicht.

Digitized by Google

2h) Polymerisation und Depolymerisation. Der Zusammentritt einfacherer Molekeln der gleichen Art zu komplizierteren Gebilden ohne Abspaltung irgendwelcher Stoffe ist schon bei der Kondensation nebenher erwähnt worden. Polymere haben also die gleiche prozentische Zusammensetzung, aber verschiedenes Molekulargewicht. Die Polymerisation kann freiwillig verlaufen, wenn der dabei (wie es scheint, stets) eintretende Energieverlust auch die freie Energie betrifft. Oft handelt es sich um umkehrbare Vorgänge, und das Gleichgewicht liegt bei niederer Temperatur zugunsten des Polymeren, bei hoher zugunsten des Monomeren. Damit ist die Wirkung stärkerer Erhitzung im Sinne der Rückbildung des Monomeren, also der **Depolymerisation**, verständlich. Die Polymerisation verläuft oft trotz günstiger Bedingungen äußerst träge und kann durch katalytische Einflüsse beschleunigt werden; auch mäßige Erwärmung befördert vielfach den Verlauf; dann ist bei der Depolymerisation durch Erhitzen „Abschreckung" zur Vermeidung des Rückganges am Platze. Polymerisation zeigen elementare und zusammengesetzte Stoffe, namentlich organische. Wahrscheinlich spielt sie auch bei Umwandlungserscheinungen (siehe unten), deren Natur noch unbekannt ist, eine Rolle.

Beispiele: weißer Phosphor → roter Phosphor (Katalyse durch Jod, durch Belichten, Beschleunigung durch Erwärmen, Depolymerisation durch Verdampfung und rasche Abkühlung); leicht schmelzendes Schwefeltrioxyd → asbestähnliche, unschmelzbare Form (von selbst verlaufend, durch Spuren von Wasser beschleunigt, Depolymerisation durch Verdampfung); Aldehyde → Paraldehyde (Einwirkung von katalysierenden Substanzen in der Kälte (Schwefelsäure, Chlorwasserstoff usw., Rückverwandlung durch Erhitzen); Aldehyde → Metaldehyde (Nebenprodukte der vorhergehenden Reaktion, isomer mit den Paraldehyden, Rückverwandlung ebenso); Aldehyde → Aldole (sogenannte Aldolkondensation, Katalyse namentlich durch alkalisch reagierende Stoffe in der Kälte, Rückverwandlung durch Erhitzen mit etwas Pottasche usw.); Cyan → Paracyan (bei mäßigem Erwärmen, auch in alkoholischer Lösung, als Nebenprodukt bei der Cyandarstellung aus Quecksilbercyanid, Rückverwandlung durch stärkeres Erhitzen); Cyansäure → Cyanursäure bezw. Cyamelid (von selbst bei niederen Temperaturen, Rückbildung durch Erhitzen); Cyanamid → Dicyandiamid bezw. Melamin (bei gewöhnlicher Temperatur oder auch bei mäßigem, für Melamin stärkerem, Erwärmen, z. T. auch in Lösung; Rückverwandlung durch Erhitzen nicht möglich); Olefine → höhere Olefine (Einwirkung „kondensierender" Mittel, wie Schwefelsäure, Zinkchlorid u. a., keine Rückverwandlung); Acetylen → Benzol (Erhitzen des Dampfes, bei niederer Temperatur durch Katalyse mit pyrophorischem Eisen; Rückverwandlung unvollkommen).

2i) Umlagerung (Isomerisation). Die nahezu ausschließliche Beschränkung der Isomerie im engeren Sinne (Metamerie: gleiche Zusammensetzung, gleiches Molekulargewicht) auf das Gebiet der Kohlenstoffverbindungen bringt es mit sich, daß die Umlagerung als präparative Methode nur für die organische Chemie Wichtigkeit besitzt. Die Reaktionen erfolgen zum Teil von selbst genügend rasch; die Wahl geeigneter Versuchsbedingungen, auch von Katalysatoren, ist wesentlich. Häufig verlaufen die Reaktionen praktisch nur in einer Richtung, in anderen Fällen findet sehr leicht Umkehrung statt; zu den letzteren gehören die Umlagerungen der Indikatoren, die durch Wasserstoff- bzw. Hydroxylion bewirkt werden.

Beispiele: Maleinester → Fumarester (Erwärmen mit katalysierendem Jod); Ammoniumcyanat → Harnstoff (beim Erwärmen, in wässeriger Lösung von selbst auch bei gewöhnlicher Temperatur); Allylrhodanid → Allylsenföl (bei der Destillation); Kaliumsalicylat → Kaliumparaoxybenzoat (Erhitzen auf 220°); Orthophenolsulfosäure → Paraphenolsulfosäure (beim Erhitzen); Azoxybenzol → Oxyazobenzol (Erwärmen mit konzentrierter Schwefelsäure); Diazoamidoverbindungen → Amidoazoverbindungen (bei etwa 50°, beschleunigt durch Gegenwart von etwas salzsaurer Aminbase); Chloralkylamine → Hydrochloride von Pyridinderivaten (in alkalischer Lösung schon bei gewöhnlicher Temperatur); Monomethylanilinhydrochlorid → Toluidinhydrochlorid (Erhitzen auf etwa 340°); Isodiazoverbindungen → Nitrosamine (in saurer Lösung; Umkehrung beim Alkalisieren); ganz entsprechend verwandeln sich viele andere Säuren in Pseudosäuren, aci-Verbindungen in gewöhnliche und rückwärts; echte Basen, z. B. Farbbasen, → Pseudobasen, z. B. Leukobasen, (beim Alkalisieren, rückwärts durch Ansäuern).

2k) Umwandlung. Dieser etwas weitere Begriff schließt eigentlich auch die Isomerisation und die Polymerisation ein, wird auch wohl für sonstige chemische Reaktionen gebraucht. Doch wollen wir hier in engerem Sinne darunter diejenigen Prozesse verstehen, bei denen Stoffe in andere der gleichen Zusammensetzung übergehen, ohne daß dabei eine Isomerisation in weiterem Sinne anzunehmen oder nachweisbar ist. Es gehören dann also hierzu die Uebergänge zwischen polymorphen Formen fester Stoffe. Im Falle der Elemente spricht man dabei von Umwandlungen allotroper Formen; jedoch ist die Allotropie nicht auf den festen Zustand beschränkt (z. B. Umwandlung von Sauerstoff in Ozon durch stille elektrische Entladungen, auf Spaltung und Addition beruhend). Endlich kann man zu den Umwandlungen auch die Ueberführung von Salzhydraten ineinander rechnen, insofern als hier der Hauptteil, das Salz selbst, unverändert bleibt. Für die systematische Ausführung von Umwandlungsreaktionen ist die

Digitized by Google

Kenntnis der Beständigkeitsverhältnisse erforderlich, also bei enantiotropen Substanzen die Lage des Umwandlungspunktes, ebenso bei Salzhydraten. Man erzielt dann Umwandlung der unter den Versuchsbedingungen unbeständigen Form in die beständige entweder ohne weiteres oder durch thermische bzw. mechanische Anregung, eventuell durch Impfung. Für viele Fälle ist von Bedeutung die Erfahrung, daß sich häufig ganz regelmäßig zunächst die unbeständige Form ausscheidet, wenn die für beide identische gasförmige oder flüssige Form abgekühlt wird, desgleichen aus Lösungen. Auch hier ist Impfung vorteilhaft. Bei manchen monotropen Substanzen ist die Entstehung der unbeständigen Form stets Zufallssache (Benzophenon aus dem Schmelzfluß), falls nicht geimpft wird. Rhombischen Schwefel verwandelt man in monosymmetrischen durch Schmelzen und Erstarrenlassen oder durch Umkristallisieren aus Schwefelkohlenstoff bei höherer Temperatur (Sättigung bei 100° unter Druck); gelbes Quecksilberjodid wandelt sich freiwillig in rotes um bei gewöhnlicher Temperatur am Licht, auch durch Reiben oder Drücken; rotes wird in gelbes übergeführt am bequemsten durch Auflösen in Alkohol und Ausfällen mit Wasser; niedere Salzhydrate werden aus höheren durch Umkristallisieren oberhalb der Umwandlungstemperatur (umgekehrt unterhalb der letzteren) erhalten.

2l) Aufbau (Synthese) und Abbau. Es sind dies keine besonderen Reaktionsarten, sondern allgemeine Bezeichnungen für die Gewinnung komplizierter zusammengesetzter Stoffe aus einfacheren bzw. für die Zerlegung ersterer in letztere. Dazu können die verschiedensten Reaktionsarten benutzt werden. Der Aufbau natürlich vorkommender Stoffe erfordert zunächst einen Abbau zum Zwecke der Aufklärung ihrer Konstitution (aus der Art der Spaltungsprodukte); erst auf dieser Grundlage ist ein planmäßiger Aufbau durch künstliche Verfahren möglich. Als wichtigere und bekanntere Beispiele sind zu nennen der Aufbau der Stoffe der Harnsäuregruppe, der Zuckerarten, des Indigo, von Alkaloiden und neuerdings die noch im Anfangsstadium befindlichen Versuche zum Aufbau von Eiweißstoffen (s. auch die Artikel „Synthese" und „Abbau").

2m) Katalyse. Daß viele Reaktionen verschiedenster Art durch die Gegenwart von Katalysatoren beschleunigt werden können, ist schon an mehreren Stellen erwähnt worden, ebenso, daß auch das Licht katalysieren kann. Ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand erübrigt sich hier, weil ihm ein besonderer Artikel gewidmet ist (s. den Artikel „Katalyse"). Für präparative Zwecke ist nach dem Gesagten die Auffindung und Anwendung eines geeigneten Katalysators von Wichtigkeit. Aber auch die Ausschaltung von Stoffen, die unerwünschte Nebenreaktionen katalysieren, spielt gelegentlich eine Rolle. So muß man bei der Darstellung der aliphatischen Salpetersäureester aus Salpetersäure und Alkoholen die salpetrige Säure (bzw. Stickstoffdioxyd) ausschließen, weil sonst durch deren katalytische Wirkung Oxydation eintritt, und erreicht das durch Zusatz von Harnstoff, der jene Verbindungen zu Stickstoff reduziert.

3. Reaktionen und Formarten. Die Formart (der Aggregatzustand) der angewandten Ausgangsmaterialien ist bei präparativen Arbeiten insofern von Bedeutung, als sich die Wahl der zweckmäßigsten Arbeitsmethode danach richtet. Ein kurzer Ueberblick über die häufigsten in der Praxis vorkommenden Fälle ist darum wohl angebracht. Ausführliche Arbeitsvorschriften können natürlich auch hier nicht gegeben werden. Doch wird in der Regel durch Anführung typischer Beispiele dem Leser die Möglichkeit verschafft werden, sich an der Hand der am Schlusse mitgeteilten Literatur über die wünschenswerten Einzelheiten zu unterrichten. Er wird dann vorkommendenfalls die jeweils geeignetste Methode auszusuchen imstande sein. Ein Mehr würde über den Rahmen dieses ganzen Artikels hinausgehen.

3a) Einwirkung von Gasen auf Gase, Flüssigkeiten und feste Stoffe. Um Reaktionen zwischen zwei Gasen auszuführen, leitet man beide gemeinsam nach gehöriger Vorbehandlung (Reinigen, Trocknen usw.) in geräumige Glasgefäße, besonders wenn die Reaktion durch Belichtung befördert wird, und von da, wenn das Reaktionsprodukt ebenfalls gasförmig ist, in weitere Apparate zur Aufbewahrung, eventuell zur Reinigung, Kondensation, Verflüssigung usw. (Beispiel: Vereinigung von Kohlenoxyd und Chlor zu Kohlenoxychlorid). Ist das Reaktionsprodukt flüssig oder fest, so schlägt es sich im Reaktionsgefäße nieder, dessen Wandung man nötigenfalls kühlen kann (Beispiel: Benzolhexachlorid aus Benzoldampf und Chlor am Licht). In manchen Fällen ist es zweckmäßig, die Gase in eine Flüssigkeit einzuleiten und so in gelöstem Zustande zur Reaktion zu bringen; es handelt sich dann also eigentlich um Reaktionen zwischen gelösten Stoffen (s. weiter unten). Die Flüssigkeit wählt man zweckmäßig so, daß das Reaktionsprodukt leicht isoliert werden kann; günstig ist Schwerlöslichkeit des letzteren darin (Beispiel: Vereinigung von Kohlendioxyd und Ammoniak in Alkohol zu Ammoniumcarbamat, das in Alkohol schwerlöslich ist). Aber auch eine eventuelle katalytische Wirkung der Flüssigkeit kann für ihre Wahl maßgebend sein. Die Verwendung

Digitized by Google

von Katalysatoren ist überhaupt gerade bei Gasreaktionen von großer Bedeutung. Man kann sie gelegentlich einfach in das Reaktionsgefäß einbringen, in dem die Gase aufeinander wirken sollen (Beispiel: Vereinigung von Chlor und Schwefeldioxyd bei Gegenwart von Kampfer zu Sulfurylchlorid). In der Regel leitet man aber das Gasgemisch durch Röhren hindurch, die mit dem Katalysator beschickt sind, und erreicht dadurch eine längerdauernde Berührung zwischen Gasgemisch und Katalysator. Die Methode des Durchleitens durch Röhren ist besonders dann am Platze, wenn die Reaktion höhere Temperaturen erfordert (mit oder ohne Katalysatoren). Nur in seltenen Fällen kann man auch innerhalb eines anderen Gefäßes im Gase oder Dampfe lokal höhere Temperaturen erzeugen, indem man einen elektrisch geheizten Leiter (Draht) oder einen Lichtbogen benutzt. Beispiele für die Röhrenmethode: Darstellung von Kohlenoxychlorid durch Ueberleiten von Chlor und Kohlenoxyd über Tierkohle bei gewöhnlicher Temperatur; Hydrieren von organischen Verbindungen durch Katalyse eines Gemisches ihres Dampfes mit Wasserstoff durch feinverteilte Metalle, besonders Nickel, bei niederen und bei höheren Temperaturen; Vereinigung von Schwefeldioxyd und Sauerstoff zu Schwefeltrioxyd, katalysiert durch feinverteiltes Platin usw. Reaktionen zwischen Gasen unter höheren Drukken, die für die Technik von großer Bedeutung sein können (vgl. das neue Verfahren zur Gewinnung von Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff), kommen im Laboratorium im wesentlichen nur bei Arbeiten im Einschmelzrohr in Frage, bei denen Flüssigkeitsdämpfe unter höheren Temperaturen und Drucken aufeinander einwirken (Beispiel: Kohlenstofftetrabromid aus Schwefelkohlenstoff und Brom unter Zusatz von Jod im Einschmelzrohr bei 150°). Die Nachbehandlung der Reaktionsprodukte ist bei der Röhrenmethode sinngemäß die gleiche, wie die oben erwähnte.

Zur Dosierung gasförmiger Substanzen (Messung der Strömungsgeschwindigkeit) benutzt man mit Vorteil die „Rota"-Messer.

Sollen Gase mit bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Substanzen in Reaktion gebracht werden, so kann man entweder die Flüssigkeit verdampfen und mit dem Gasgemisch wie oben verfahren, oder das Gas mit der Flüssigkeit selbst zusammenbringen. Die gewöhnlichste Ausführungsform ist das Einleiten oder Durchleiten des Gases in oder durch die Flüssigkeit. Vergrößerung der Berührungsfläche (Auflösung des Gasstroms in feine Bläschen durch Anwendung zahlreicher, kleiner Eintrittsöffnungen) und Verlängerung des Weges jeder einzelnen Gasblase (Schlangenrohre, Kugelrohre usw.) sind für den Fortschritt solcher Reaktionen günstig. Auch Schütteln der Flüssigkeit mit dem Gase ist sehr förderlich und wird viel angewandt. Wird das Gas sehr rasch gelöst oder unter Reaktion verbraucht, so empfiehlt sich zur Vermeidung des Zurücksteigens der Flüssigkeit die Vorschaltung einer Sicherheitsflasche (umgekehrt geschaltete Waschflasche). Auch kann man dann das Einleitungsrohr, wenn angängig, unter etwas am Boden des Reaktionsgefäßes befindliches Quecksilber tauchen lassen. Letztere Maßnahme ist auch dann zweckmäßig, wenn sich bei der Reaktion feste Stoffe bilden, die das Einleitungsrohr verstopfen können (wie z. B. bei der Einwirkung von Siliciumfluorid auf Wasser: Darstellung der Kieselfluorwasserstoffsäure). Die Einwirkung von Gasen auf Flüssigkeiten dient teils als Hilfsoperation (zur Gewinnung gesättigter Gaslösungen oder solcher von bestimmter Konzentration: Schwefelwasserstoff, Chlor, Ammoniak, Chlorwasserstoff) teils als Hauptreaktion (Chlorieren, Oxydieren mit Luft, reinem Sauerstoff oder Ozon, Reduzieren mit Schwefeldioxyd oder Schwefelwasserstoff usw.), endlich in noch viel ausgedehnterem Maße zur Durchführung von Reaktionen mit flüssigen Lösungen fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe (Fällungen usw. mit Kohlendioxyd und vor allem mit Schwefelwasserstoff; s. auch unter „Reaktionen in Lösungen").

Um Gase mit festen Stoffen in Reaktionen eintreten zu lassen, wird das Gas gewöhnlich über die feste Substanz übergeleitet. Letztere füllt man dabei zweckmäßig als gröberes oder feineres Pulver in Röhren ein (eine Rinne für das Gas frei lassen; eventuell Einschließen zwischen Pfropfen aus Asbestwolle u. dgl., Anwendung von Schiffchen), die auf die erforderliche Reaktionstemperatur erhitzt werden können (Reduktion von Metalloxyden mit Wasserstoff, Oxydation mit Luft, Sulfurieren mit Schwefeldampf oder Schwefelwasserstoff usw.). Bei präparativen Arbeiten mit größeren Substanzmengen nimmt man die Reaktion gelegentlich auch in Retorten und anderen Gefäßen vor (Darstellung von Phosphortrichlorid aus Phosphor im Chlorstrome). In manchen Fällen wird der feste Stoff in einer geeigneten Flüssigkeit suspendiert (Darstellung von Jodwasserstoffsäure aus Jod und Schwefelwasserstoff).

3b) Einwirkung von Flüssigkeiten auf Flüssigkeiten und feste Stoffe. Sollen Flüssigkeiten aufeinander einwirken, so wird man auch hier für innige Vermengung zu sorgen haben. Bei unbeschränkt mischbaren Flüssigkeitspaaren tritt diese beim Umrühren oder Schütteln ohne weiteres ein. Reak-

Digitized by Google

tionen solcher Substanzen miteinander sind daher besonders einfach auszuführen. Man kann dann die Reaktion erforderlichenfalls durch Abkühlen mäßigen, durch Erwärmen, eventuell bis zum Sieden (am zweckmäßigsten am Rückflußkühler) befördern (Darstellung von Aethylschwefelsäure, von Aethylen, von Aethyläther). Bei unvollkommener oder geringer Mischbarkeit ist durch häufiges oder andauerndes Rühren oder Schütteln eine ausreichende Vermengung der Reaktionskomponenten zu bewirken (Nitrieren von Benzol). Die Trennung der Reaktionsprodukte erfolgt nach den Bedingungen des Einzelfalls durch Filtrieren, Scheiden, Destillieren (eventuell fraktioniert), Auskristallisieren, Ausschütteln usw. oder durch Anwendung chemischer Methoden.

Die Einwirkung von Flüssigkeiten auf feste Stoffe kommt sehr häufig vor. Es kann sich dabei um chemische Reaktionen handeln, bei denen der feste Stoff in lösliche Verbindungen übergeführt (Gewinnung von Metallsalzen durch Auflösung von Metallen oder geeigneten Metallverbindungen in Säuren) oder aber, ohne in wesentlichem Umfange gelöst zu werden, in einen anderen Stoff umgewandelt wird (Umwandlung von Salzen flüchtiger Säuren in Sulfate durch Abrauchen mit Schwefelsäure). Auch können gelöste Stoffe neben schwerlöslichen Rückständen entstehen. Von großer Bedeutung ist eine derartige Behandlung fester Stoffe mit Flüssigkeiten (insbesondere flüssigen Lösungen) für die chemische Trennung der Komponenten in Gemischen fester Stoffe oder in festen Lösungen. Leichter angreifbare Stoffe können auf diese Weise von schwerer angreifbaren getrennt werden (verschieden schwer lösliche Sulfide durch Säuren; verschieden edle Metalle durch Säuren; in Ammoniak leicht und schwer lösliche Metallhydroxyde; in Sulfidlösungen leicht und schwer lösliche Schwermetallsulfide). Ob die Einwirkung in der Kälte oder in der Wärme zu erfolgen hat, ist nur von Fall zu Fall zu entscheiden. Besonders zu erwähnen sind noch die Reaktionen fester Stoffe mit geschmolzenen Substanzen bei höherer Temperatur (Reaktionen im Schmelzfluß). Solche Schmelzoperationen dienen der Aufschließung schwer löslicher Stoffe (Silikate und Sulfate mit geschmolzenem Alkalicarbonat), der Oxydation (Sulfide u. a. Verbindungen mit Soda und Salpeter oder anderen Oxydationsmitteln), der Reduktion (Schmelzen von Metalloxyden mit Cyankalium), ferner auch gewissen Umsetzungen, wie Spaltungen, Kondensationen usw. (Kalischmelze der Sulfonsäuren zur Darstellung von Phenolen), um nur einige wichtigere und bekanntere Beispiele zu nennen. Das Umschmelzen von Gemischen unter geeigneten Schmelzflüssen ist eine Reinigungsmethode für manche festen Stoffe, wie überhaupt die Schmelzverfahren außer zur Darstellung bestimmter Stoffe vielfach zur Trennung und Reinigung benutzt werden.

3c) Einwirkung fester Stoffe aufeinander. Feste Stoffe können außer durc Verdampfung oder Verflüssigung nur auf dem Wege der gegenseitigen Durchdringung (Bildung fester Lösungen) zur Reaktion miteinander kommen. Letzteres erfordert sehr lange Zeiträume oder hohe Drucke und spielt darum für präparative Zwecke keine Rolle. Durch inniges Verreiben unter Druck können Stoffe mit merklicher Dampfspannung in kürzester Zeit zur Reaktion gebracht werden. Dann handelt es sich aber im Grunde um die Einwirkung von Gasen aufeinander oder auf feste Stoffe. Ebenso gehört die Reaktion fester Stoffe miteinander beim Zusammenschmelzen nicht hierher, sondern in den vorigen Abschnitt (Darstellung von Sulfiden durch Zusammenschmelzen der Elemente mit Schwefel, von Silikaten durch Verschmelzen von Basen oder Salzen mit Kieselsäureanhydrid usw.). Die gewöhnlichste Methode, Reaktionen zwischen festen Stoffen durchzuführen, besteht darin, ihre flüssigen Lösungen zusammenzubringen.

3d) Einwirkung gelöster Stoffe aufeinander. Lösungen werden bei präparativen Arbeiten ungemein häufig angewandt. Die Gegenwart eines Lösungsmittels kann die Reaktionsgeschwindigkeit verringern, die Heftigkeit einer Reaktion also mildern, auch die Richtung der Reaktion ganz entscheidend beeinflussen (so wirkt konzentrierte Salpetersäure energisch oxydierend, verdünnte in der Regel nicht), ferner katalytische Wirkungen ausüben und endlich die Reaktion in vielen Fällen bequemer machen (Reaktionen zwischen Gasen), erleichtern (gemeinsames Lösungsmittel für wenig mischbare Flüssigkeiten) oder überhaupt erst ermöglichen (Reaktionen zwischen nicht flüchtigen festen Stoffen). Durch Wahl geeigneter Verdünnungen kann man oft die zweckmäßigsten Reaktionsgeschwindigkeiten erzielen. Außerdem bietet häufig ein Lösungsmittel noch den Vorteil, daß dadurch gleich eine Trennung der Reaktionsprodukte bewirkt wird. Die Reaktionen verlaufen in Lösungen verschieden, je nachdem ob es sich um Jonenreaktionen oder solche zwischen nichtionisierten Stoffen handelt. Letztere, also Reaktionen zwischen Nichtelektrolyten oder zwischen Elektrolyten in nichtionisierenden Lösungsmitteln, erfordern gewöhnlich merklich Zeit und werden vielfach noch besonders durch Erwärmen unterstützt. Alle einfachen, echten Ionenreaktionen (einfacher Ladungsaustausch) dagegen verlaufen praktisch momentan, auch in der Kälte. Hier

Digitized by Google

kommt es im wesentlichen nur auf gute, mechanische Durchmischung an, und eine Erwärmung dient im allgemeinen nur der Beeinflussung der Löslichkeit wie der Abscheidungsform schwerlöslicher Stoffe usw. Wo es sich dagegen nicht einfach um den Austausch von Ionenladungen handelt, sondern um den Zerfall von Molekeln oder um Reaktionen zwischen Ionen und Nichtionen, endlich bei echten, aber komplizierteren Ionenreaktionen, kommt wieder eine merkliche Reaktionsdauer in Frage, daher auch ein entscheidender Einfluß der Temperatur. In vielen Fällen stellen sich deutlich chemische Gleichgewichtszustände zwischen den Reagentien einerseits und den Reaktionsprodukten andererseits ein. Durch Störung solcher Gleichgewichte infolge von Verflüchtigung, Abscheidung in flüssiger (als neue Phase) oder fester Form kann jedoch die Reaktion in bestimmter Richtung praktisch zu Ende geführt werden. Angesichts des ungeheuer reichhaltigen Materials kann auf Einzelheiten nicht eingegangen werden. Von Ionenreaktionen im weiteren Sinne in wässeriger Lösung seien nur genannt Oxydationen, Reduktionen, Substitutionen, insbesondere die Neutralisation und alle die zahlreichen Fälle des doppelten Austausches zwischen Säuren, Basen oder Salzen, namentlich die Fällung schwerlöslicher Verbindungen, wie vieler Hydroxyde, Sulfide, Carbonate, Sulfate usw. In nichtwässerigen Lösungsmitteln können wegen der abweichenden Löslichkeitsverhältnisse ganz andere Fällungsreaktionen auftreten. Bei der Abscheidung von Gasen und festen Stoffen treten häufig infolge von Uebersättigung Verzögerungserscheinungen ein.

4. Reaktionen unter besonderen Versuchsbedingungen. 4a) Pyrogenetische Reaktionen. Zur Einleitung mancher Reaktionen sind hohe Temperaturen erforderlich; andere wieder verlaufen überhaupt nur in der Hitze (merklich) in bestimmter Richtung. Letzteres ist dann der Fall, wenn die gewünschten Reaktionsprodukte gerade bei höherer Temperatur beständig sind, weil vorhandene Gleichgewichte alsdann zu ihren Gunsten liegen. Von der Konservierung solcher Substanzen durch rasche Temperaturänderungen (Abschrecken) ist schon gelegentlich die Rede gewesen. Es wird hierbei die Erscheinung ausgenutzt, daß die Rückverwandlung bei gewöhnlicher Temperatur oft praktisch ausbleibt. Reaktionen, die auf die Darstellung solcher Stoffe hinzielen, heißen pyrogenetische; doch dehnt man diesen Begriff auch auf die andere Gattung von Hitzereaktionen aus, bei denen es nur auf die Beschleunigung einer auch bei niederer Temperatur an sich möglichen Reaktion ankommt. Bei letzteren genügt dann manchmal die eigene Reaktionswärme zur Fortführung der Reaktion, was bei den eigentlichen pyrogenetischen Reaktionen, die umgekehrt die Wärme verbrauchen, natürlich ausgeschlossen ist. Daß zur Einleitung exothermischer Reaktionen in manchen Fällen äußerst hohe Temperaturen nötig sind, erklärt sich dann sehr einfach, wenn die Reagentien schwerschmelzbar und praktisch nicht flüchtig sind. Hierher gehören die aluminothermischen Verfahren (Reduktion von Metalloxyden durch metallisches Aluminium). Sie erfordern eine „Zündung" durch brennendes Magnesium in Verbindung mit besonderen Entzündungsgemischen. Als Ersatz kann die Knallgasflamme oder der elektrische Lichtbogen dienen. Die zur Durchführung echter pyrogenetischer Reaktionen oft notwendigen sehr hohen Temperaturen erzielt man am bequemsten durch elektrische Heizung (Elektrothermische Verfahren). Dazu dient die Widerstandserhitzung (Joulewärme in einem vom Strome durchflossenen Leiter) oder die Hitze des elektrischen Lichtbogens (Darstellung von Siliciumcarbid, Calciumcarbid usw.). Organische Verbindungen erfahren oft Kondensationen, Polymerisationen und sonstige, tiefgreifende Veränderungen durch Anwendung höherer Temperaturen; auch solche Reaktionen werden als pyrogenetische bezeichnet. Je nach der zu erzielenden Temperatur wird die Erhitzungsart verschieden sein (Durchleiten der Dämpfe durch heiße Röhren, Erhitzen von Drähten durch den elektrischen Strom innerhalb des Dampfes, Erzeugung eines Lichtbogens im Dampfe). Besonderer Erwähnung bedarf die Methode der Erzeugung von Lichtbögen innerhalb einer Flüssigkeit. Bei Anwendung von Metallelektroden kann man dabei durch „Zerstäubung" kolloide Lösungen der betreffenden Metalle erhalten (z. B. unter ganz reinem Wasser).

Auch für sonstige präparative Zwecke wird die Widerstandserhitzung wie auch die Hitze des Lichtbogens gelegentlich ausgenützt (Schmelzen, Destillieren, Sublimieren relativ feuerbeständiger Stoffe).

4b) Aktinochemische Reaktionen. Eine Wirkung strahlender Energie äußert sich bei chemischen Reaktionen teils in katalytischer Beschleunigung (solche Einflüsse wurden schon mehrfach erwähnt) teils geradezu in einer Gleichgewichtsverschiebung (Arbeitsleistung). Die Fälle der ersten Art sind die häufigeren und werden bei präparativen Arbeiten gelegentlich ausgenutzt; die der letzteren Art sind die vom technischen und wirtschaftlichen Standpunkte wichtigeren. Ein Eingehen auf diesen Gegenstand erübrigt sich mit Rücksicht auf den besonderen Artikel „Photochemie" dieses Handwörterbuches.

Digitized by Google

4c) Elektropräparative Arbeiten. Hierzu gehören diejenigen Methoden, bei denen die eigentlichen chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes, nicht seine thermischen, benutzt werden, also elektrochemische Reaktionen. Die Wirksamkeit elektrischer Ströme in Leitern zweiter Klasse (Elektrolyten) ist von dem gemeinsamen Gesichtspunkte aus zu verstehen, daß an der Kathode (dem negativen Pol) negative Ladungen zugeführt oder positive vernichtet, an der Anode (dem positiven Pol) positive Ladungen zugeführt oder negative vernichtet werden. Demgemäß ist der Kathode ganz allgemein eine reduzierende, der Anode eine oxydierende Wirkung (im weiteren Sinne) zuzuschreiben. Aus höherwertigen Kationen werden daher an der Kathode niederwertige, aus niederwertigen Anionen ebenda höherwertige, aus Kationen überhaupt freie Kationenbildner, aus Anionenbildnern dagegen Anionen. An der Anode verlaufen die umgekehrten Prozesse, also, niederwertige Kationen → höherwertige Kationen; höherwertige Anionen → niederwertige Anionen; Kationenbildner → Kationen; Anionen → Anionenbildner. Beispiele: an der Kathode: Ferriion → Ferroion; Ferricyanion → Ferrocyanion; Silberion → Silber; Chlor → Chlorion. An der Anode verlaufen alle diese Prozesse genau in umgekehrtem Sinne. Als „Elektrolyt", d. h. vom Strome durchflossener Leiter zweiter Klasse, werden verwendet geschmolzene Metallhydroxyde oder Salze (Schmelzflußelektrolyse) und Lösungen von Säuren, Basen oder Salzen (also der Stoffe, die eigentlich Elektrolyte heißen) in ionisierenden Lösungsmitteln, vor allem in Wasser. Bilden sich an den Elektroden Stoffe, die in dem „Elektrolyten" nicht nennenswert löslich oder darin schon bis zur Sättigung gelöst sind, so treten diese als neue Phasen auf. Man spricht dann von elektrolytischer Abscheidung. Diese kann sich auf feste Stoffe, Flüssigkeiten und Gase erstrecken.

Unter elektrolytischer Auflösung versteht man den umgekehrten Vorgang, also die Ueberführung nicht gelöster Stoffe in gelöste. Elektrolytische Auflösung kommt in der Praxis im wesentlichen nur bei Metallen vor, und zwar an der Anode, elektrolytische Abscheidung an beiden Elektroden. Außer den genannten elektrochemischen Reaktionen spielen sich aber bei Elektrolysen noch andere ab, welche als Folgereaktionen aufgefaßt werden können und in Reaktionen der primär gebildeten oder abgeschiedenen Stoffe bestehen (sekundäre Reaktionen). Vielfach kommen die primär entstehenden Stoffe gar nicht zum Vorschein, sondern nur die Produkte sekundärer Reaktionen. Diese sekundären Prozesse können wieder elektrochemische oder auch rein chemische sein. So kann der an der Kathode entstehende Wasserstoff Reduktionen und Hydrierungen bewirken, der anodisch gebildete Sauerstoff Dehydrierungen und andere Oxydationen. Bei elektropräparativen Arbeiten kommt es meist auf das Innehalten einer bestimmten Badspannung und einer bestimmten Stromdichte (Stromstärke auf die Oberflächeneinheit der Elektrode, an der sich die gewünschte Reaktion vollziehen soll) an. Auch die Temperatur spielt eine Rolle. Die stets auftretende Joulewärme wirkt manchmal günstig; andernfalls ist sie durch Kühlung zu beseitigen. Andere Prozesse verlangen wieder noch besondere Erwärmung. Von Wichtigkeit ist ferner das Material der Elektroden. Nicht nur, daß in vielen Fällen Unangreifbarkeit der Elektroden, besonders der am meisten Angriffen ausgesetzten Anode, erforderlich oder wünschenswert ist, hat das Elektrodenmaterial und selbst die mechanische Beschaffenheit ihrer Oberfläche in vielen Fällen einen Einfluß auf Charakter und Verlauf der Reaktion. Als Material für unangreifbare Elektroden dienen hauptsächlich Platin, Graphit, Retortenkohle und in manchen Fällen auch Nickel. Als Kathodenmaterial werden außer Platin noch Nickel, Kupfer, Blei, Quecksilber u. a. Metalle benutzt. Sollen Anoden- und Kathodenflüssigkeit (zur Vermeidung sekundärer Reaktionen) möglichst getrennt bleiben, so verwendet man Diaphragmen, in der Regel einfach Tonzellen, und bringt die eine Elektrode innen, die andere außen an. Ist Durchmischung erwünscht, so arbeitet man ohne Diaphragma, unterstützt die Diffusion oft sogar noch durch Rühren der Flüssigkeit mit oder ohne Bewegung der Elektroden.

Beispiele: Gewinnung von Metallen durch Schmelzflußelektrolyse (Natrium aus dem Hydroxyd; Lithium, Calcium, Magnesium aus Haloidschmelzen; Kaliumamalgam aus dem Hydroxyd mit Quecksilberkathode); Darstellung von reinem Wasserstoff durch Elektrolyse von Alkalilauge; Gewinnung von reinem oder ozonisiertem Sauerstoff (je nach Stromdichte, Elektrodenmaterial und Elektrolyt); Erzeugung von Chlor und von Alkalihydroxyd aus Alkalichloridlösungen (Trennung der Elektrodenräume); Darstellung von Hypochloriten und von Chloraten aus Chloriden (Vermischung der Elektrodenflüssigkeiten); Oxydation von Chromisalzen zu Chromsäure; Gewinnung von Persulfaten aus primären Sulfaten; anodische Auflösung von Blei, Bildung von Bleisalzen; Raffination von Metallen durch anodische Auflösung und kathodische Abscheidung in wässeriger Metallsalzlösung; Abscheidung von Jod aus Jodiden, Reaktionen damit: elektrolytische Jodoformgewinnung; Darstellung von Aethan durch Elektrolyse von Acetaten; Reduktion von Nitroverbindungen; Reduktion von Ketonen, Aldehyden, Säuren; Hydrierungen ungesättigter organischer Verbindungen; Oxydation von Kohlenwasserstoffen zu Alkoholen; Oxy-

Digitized by Google

dation von Alkoholen zu Säuren; Kondensationen, Spaltungen und andere Reaktionen.

Näheres ist zu finden bei Elbs, Uebungsbeispiele für die elektrolytische Darstellung chemischer Präparate, Halle 1911; ferner in den Werken des Literaturverzeichnisses.

Eine nicht elektrochemische, sondern elektrodynamische Wirkung des elektrischen Stromes, die für präparative Zwecke nutzbar gemacht werden kann, stellt die elektrische Kataphorese dar. Sie ist das Gegenstück zu der Wanderung von Suspensionen und Kolloiden nach der einen Elektrode und besteht in einem Durchtritte des Lösungswassers durch poröse Wände unter der Wirkung des elektrischen Stromes. Technisch läßt sich dieses Phänomen zur Entwässerung poröser Materialien mit Erfolg anwenden. — Siehe auch den Artikel „Synthese“.

5. Darstellung einiger wichtiger Stoffklassen. 5a) Darstellung von Elementen. Eine Reihe elementarer Stoffe kommt in der Natur vor. Es handelt sich dann um ihre Reingewinnung durch Trennung von regelmäßigen Begleitern oder zufälligen Verunreinigungen (s. auch oben über Reinigungsmethoden). So wird Schwefel aus dem natürlich vorkommenden in reinem Zustande durch Destillation oder Umkristallisieren gewonnen. Durch Destillation, z. T. mit geeigneten Zusätzen, erhält man desgleichen aus dem gediegenen Arsen das reine Element. Auch das Wismut stellt man im wesentlichen durch Reinigungsprozesse aus dem natürlich vorkommenden Metall her. Dasselbe gilt für Gold und die Metalle der Platingruppe. Aus der Luft wird in der Technik in großem Maßstabe durch fraktionierte Verflüssigung bzw. Verdampfung praktisch reiner Sauerstoff und andererseits Stickstoff (einschließlich der Edelgase) gewonnen. Im Laboratorium bereitet man Luftstickstoff (wenn es auf Freiheit von Edelgasen nicht ankommt) durch Entfernung des Sauerstoffs kohlendioxydfreier Luft vermittels glühenden Kupfers oder flüssiger Absorptionsmittel. Die Edelgase (Argon usw.) werden durch Fraktionierung flüssiger Luft und chemische Bindung der reaktionsfähigen Gase isoliert und dann durch Fraktionierung getrennt.

Wenn es auf besondere Reinheit ankommt, vielfach aber auch aus Gründen der Zweckmäßigkeit, führt man auch die natürlich vorkommenden Elemente, soweit möglich, in Verbindungen über und stellt sie daraus mit Hilfe besonderer chemischer Methoden wieder her.

Viele Elemente lassen sich aus ihren Oxyden durch Reduktion darstellen. So erhält man durch Glühen im Wasserstoffstrome Kupfer, Nickel, Kobalt, Eisen, Blei, Molybdän; durch Reduktion mit Kohle Cadmium, Zink (Destillation), Antimon, Wismut, Zinn, Blei, Molybdän, Wolfram, Uran (letztere drei im elektrischen Ofen); manche Elemente, vor allem Eisen und Mangan, werden bei diesem Verfahren leicht kohlenstoffhaltig. Die Großtechnik entfernt den Kohlenstoff wieder, was im Laboratorium nicht gelingt. Kohlenstofffrei gewinnt man solche Elemente nach dem aluminothermischen Verfahren (Entzündung eines Gemisches der Oxyde mit Aluminiumpulver). In dieser Weise lassen sich ferner noch andere, besonders auch schwerflüssige Elemente darstellen, wie Kobalt, Nickel, Chrom, Molybdän, Wolfram. Durch Glühen oder Schmelzen mit Magnesium bzw. Aluminium lassen sich die Oxyde von Bor und Silicium, durch Elektrolyse in einem geeigneten Lösungsmittel (geschmolzener Kryolith) auch das des Aluminiums zu den Elementen reduzieren. Wasserstoff kann man gewinnen durch Reduktion von Wasserdampf mit Hilfe glühenden Eisens, Stickstoff aus Stickoxyden durch glühendes Kupfer. Aus ihren Oxyden oder eigentlich aus den durch Auflösen in Wasser daraus hervorgehenden Säuren entstehen Selen und Tellur durch Reduktion mit schwefliger Säure. Durch Glühen mit Kohle erhält man aus Kaliumcarbonat Kalium, aus Phosphaten Phosphor.

Viele Elemente können aus Halogenverbindungen abgeschieden werden, so Silber durch Reduktion des feuchten Chlorids mit Zink oder mit Traubenzucker und Alkali. Aus Siliciumfluorid entsteht beim Erhitzen mit Natrium sowie mit Aluminium das Silicium, aus Uranchlorid mit Natrium das Uran. Durch Elektrolyse geschmolzener Halogenverbindungen werden Lithium, Calcium, Strontium, Barium, Magnesium, Beryllium, Aluminium, Cerium, Blei u. a. hergestellt. Zur elektrolytischen Gewinnung von Elementen eignen sich auch andere Verbindungen, so das Hydroxyd für die Darstellung von Natrium, ferner wässerige Lösungen vieler Metallsalze, wie z. B. die des Silbers und Kupfers; Wasserstoff entsteht an der Kathode bei der Elektrolyse vieler wässeriger Lösungen von Säuren, Basen, auch von Salzen sehr unedler Metalle, ebenso Sauerstoff anodisch, am besten aus Laugen. Anodisch entstehen auch die Halogene aus ihren Ionen (im Schmelzfluß und in wässeriger Lösung); Fluor kann nur durch Elektrolyse von Fluoriden in wasserfreiem Fluorwasserstoff gewonnen werden. Aus ihren Sulfiden bilden sich Quecksilber und Antimon durch Erhitzen mit unedleren Metallen wie Eisen;

Digitized by Google

Silber durch Rösten; durch Rösten und Verschmelzen Blei und Kupfer. Oxydation ihrer Wasserstoffverbindungen liefert den Kohlenstoff (als Ruß durch unvollständige Verbrennung von Kohlenwasserstoffen), das Chlor (Behandeln mit Braunstein in der Wärme, mit Permanganat in der Kälte), Brom (Destillation mit Chromsäure) und Jod (Einwirkung von salpetriger Säure). Auch chemische Zersetzungen können Elemente entstehen lassen, so der Zerfall von Peroxyden oder Chloraten durch Hitze Sauerstoff, die „Verkohlung" von Kohlehydraten (wie Zucker) Kohlenstoff, der Zerfall von Ammoniumnitrit in wässeriger Lösung beim Erwärmen Stickstoff, derjenige der Thioschwefelsäure Schwefel.

Aus ihren Kationen werden Metalle und Wasserstoff durch elektropositivere Kationenbildner, wie unedlere Metalle, abgeschieden (Ausfällung edlerer Metalle durch Zink usw.); in ähnlicher Weise wirken in manchen Fällen sonstige Reduktionsmittel (Fällung von Gold aus Goldsalzen durch Ferrosalze oder Oxalsäure).

5b) Darstellung von Säuren. Nicht alle theoretisch möglichen Darstellungsmethoden haben praktische Bedeutung; so z. B. nicht die Bildung aus Elementen und Wasserstoff (Halogenwasserstoff, Schwefelwasserstoff). Von allgemeinerer Anwendbarkeit sind die folgenden Verfahren. 1) Aus Säureanhydriden (dazu gehören die säurebildenden Oxyde der Nichtmetalle) und Wasser; Beispiele: schweflige Säure, Kohlensäure (beide nur in verdünnter Lösung), Schwefelsäure (technische Methode: Auffangen des Schwefeltrioxyds in konzentrierter Schwefelsäure und Verdünnen mit Wasser), Salpetersäure (aus Stickstoffdioxyd — von der Luftverbrennung — neben salpetriger Säure), Chromsäure, arsenige Säure. In vielen Fällen kann man die Reindarstellung des säurebildenden Oxyds umgehen, indem man das betreffende Element oder Verbindungen davon in wässeriger Lösung oxydiert; Beispiele: Phosphorsäure aus Phosphor mit Salpetersäure; Jodsäure aus Jod mit Salpetersäure oder Chlor; Arsensäure aus arseniger Säure mit Salpetersäure; Chromsäure aus Chromisalz durch elektrolytische Oxydation. 2) Aus anderweitigen Verbindungen säurebildender Elemente, besonders mit Halogen, durch Zersetzung mit Wasser; z. B. phosphorige Säure aus Phosphortrichlorid; Jodwasserstoff (neben phosphoriger Säure) aus Phosphortrijodid. 3) Aus Säurederivaten: aus Säurechloriden mit Wasser (neben Salzsäure), aus Säureamiden mit salpetriger Säure (neben Stickstoff und Wasser), aus sogenannten Nitroverbindungen mit Wasser (neben salpetriger Säure). Die beiden erstgenannten Methoden kommen bei der Gewinnung organischer Säuren häufig in Frage, die letzte führt z. B. von der Nitrosylschwefelsäure des Bleikammerprozesses zur Schwefelsäure. 4) Aus Salzen: a) durch „Verdrängung" mit anderen Säuren (oder Säureanhydriden: dann entstehen ebenfalls die Anhydride), Störung des dabei sich einstellenden Gleichgewichts durch Verflüchtigung (Salzsäure, Salpetersäure, Essigsäure durch Destillation mit Schwefelsäure) oder Abscheidung in festem (bzw. flüssigem) Zustande (Borsäure aus Boraten durch Salzsäure); sehr viel benutzte Methode, bei zersetzlichen Säuren mit Vakuumdestillation (Rhodanwasserstoff mit Phosphorsäure); b) durch Entfernung des Kations, in der Regel durch Ausfällung. Hierzu werden besonders Bariumsalze (Fällung mit Schwefelsäure), Silbersalze (Fällung mit Salzsäure), Blei- oder Kupfersalze (Fällung mit Schwefelwasserstoff) u. a. benutzt. Häufig angewandt, namentlich zur Darstellung organischer Säuren, aber auch in der anorganischen Chemie. 5) Organische Säuren entstehen bei der Oxydation von Alkoholen und Aldehyden, durch Aufbau und Abbau aus kohlenstoffärmeren bzw. -reicheren Verbindungen, durch Verseifung von Estern und von Nitrilen und nach sonstigen speziellen Methoden. 6) Besondere Methoden sind noch die Vereinigung von Komponenten zu komplexen Säuren (Kieselfluorwasserstoffsäure aus Siliciumfluorid und Fluorwasserstoff), Wasseranlagerung an Anhydrosäuren und kondensierte Säuren (Phosphorsäure aus der Meta- und der Pyrosäure), Bildung von Persäuren mit Wasserstoffperoxyd usw.

5c) Darstellung von Basen. 1) Analog den Säuren aus den Anhydriden, z. B. den basenbildenden Metalloxyden, aber auch Ammoniak und Derivaten, und Wasser (Calciumhydroxyd; Ammoniumhydroxyd in Lösung). 2) Aus wasserzersetzenden Metallen und Wasser (Kaliumhydroxyd, Natriumhydroxyd, bei der Elektrolyse von Kali- bzw. Natronsalzen an der Kathode, auch aus den entsprechenden Amalgamen [Lösungen der Metalle in Quecksilber] und Wasser). 3) Aus gewissen Metallverbindungen (Aluminiumsulfid, Calciumcarbid), sowie manchen Verbindungen zweier basenbildenden Oxyde (Aluminaten) und Wasser, z. T. erst bei höherer Temperatur; ohne präparative Bedeutung. 4) Aus Salzen: a) durch „Verdrängung" mit anderen Basen (oder basenbildenden Oxyden; dann entstehen ebenfalls die Anhydride); Gleichgewichtsstörung durch Verflüchtigung (Ammoniak, das Anhydrid, aus Ammoniumsalzen und Laugen oder — trocken — Calciumoxyd), oder Ausfällung in fester (bzw. flüssiger) Form (Fällung zahlreicher schwerlöslicher Metallhydroxyde mit Laugen); b) durch Entfernung des Anions, in der Regel

Digitized by Google

durch Fällung. Carbonate werden mit Calcium- oder Bariumhydroxyd, Chloride, Bromide und Jodide mit feuchtem Silberoxyd, Sulfate mit Bariumhydroxyd zerlegt. (Alkalilaugen aus den Carbonaten mit Kalk, viele organische Basen durch Fällung ihrer Sulfate oder Haloide). 5) Komplexe Basen können sich analog den komplexen Säuren aus den Komponenten bilden. So entstehen durch Anlagerung von Ammoniak an viele Metallhydroxyde die Metallaminbasen. Auf ihrer Entstehung beruht die auffallend große Löslichkeit der entsprechenden Hydroxyde in wässerigem Ammoniak.

5d) Darstellung von Salzen (einschließlich der Doppelsalze und der komplexen Salze). Einfache Salze: 1) Aus Metallen und Metalloiden durch direkte Vereinigung (manche wasserfreie Metallchloride durch Erhitzen im Chlorstrome; Sulfide durch Zusammenschmelzen mit Schwefel). 2) Aus Metalloxyd oder Metallhydroxyd und Metalloidoxyd, d. h. Basenanhydrid oder Base und Säureanhydrid (Silikate durch Zusammenschmelzen, ebenso Borate; einzelne Carbonate durch Einwirkung von Kohlendioxyd); bei Anwendung von Basen erfolgt Wasseraustritt. 3) Aus Metallhydroxyd und Metalloid (Hypochlorite neben Chloriden; Hypophosphite neben Phosphorwasserstoff). 4) Aus Metallen und Säuren in wasserfreiem Zustande oder in Lösung (wasserfreie Chloride durch Behandeln im Chlorwasserstoffstrome, ebenso manche Sulfide; Haloide mit wässerigen Halogenwasserstoffsäuren — neben Wasserstoff; Sulfate mit wässeriger oder konzentrierter Schwefelsäure — neben Wasserstoff oder Schwefeldioxyd, gelegentlich auch Schwefelwasserstoff bzw. Schwefel; Nitrate mit verdünnter oder konzentrierter Salpetersäure — neben Wasserstoff oder Stickoxyden, auch Ammoniak). 5) Aus Basen und Säuren (Neutralisation), auch Basenanhydriden (z. B. Ammoniak) und Säuren, neben Wasser. Sehr viel angewandte Methode vielfach mit den berechneten Mengen der Komponenten ausgeführt oder unter Kontrolle der Aequivalenz (Titration). 6) Aus anderen Salzen durch Verdrängung der Säure mit einer anderen (Eindampfen von Salzen flüchtiger Säuren mit schwerflüchtigen Säuren z. B. von Chloriden mit Schwefelsäure; Ausfällung schwerlöslicher Salze aus Lösungen leichter löslicher, z. B. von Sulfiden aus Sulfatlösungen). In ähnlicher Weise kann man Salze aus anderen durch Verdrängung der Base mit Hilfe einer anderen oder eines Metalles durch ein anderes darstellen, doch kommen die beiden letzten Methoden für die Praxis kaum in Betracht. 7) Aus anderen Salzen durch wechselseitigen Austausch, namentlich angewandt zur Darstellung schwerlöslicher Salze durch Ausfällung oder allgemein zur Gewinnung von Salzen durch Ausnutzung der Löslichkeitsverhältnisse (Kalisalpeter aus Natronsalpeter und Kaliumchlorid, Natriumbicarbonat aus Ammoniumbicarbonat und Natriumchlorid, schwerlösliche Carbonate aus leichtlöslichen anderen Salzen und leichtlöslichen Carbonaten, ebenso analog schwerlösliche Sulfide, Phosphate usw.). 8) Aus zwei verschiedenen Sulfiden können Thiosalze (Sulfosalze) erhalten werden, ebenso auch unter Verwendung von Hydrosulfiden oder Hydroxyden einerseits und Sulfiden andererseits (Gewinnung von Sulfosalzen der Arsen-, Antimon-, Zinngruppe durch Vereinigung der entsprechenden Sulfide mit Alkalisulfiden usw. in Lösung oder beim Zusammenschmelzen). 9) Aus anderen Salzen durch Oxydation, Reduktion, Addition, Kondensation und andere chemische Prozesse (Cyanide → Cyanate; Nitrate → Nitrite; Sulfite → Thiosulfate; Hydrosulfate → Pyrosulfate; Hydrosulfate → Persulfate).

Saure Salze entstehen durch Zusammentritt von Salzen mit ihren Säuren, oder bei Reaktion zwischen Basen usw. und Säuren bei einem entsprechenden Ueberschuß der letzteren. Basische Salze bilden sich bei der Einwirkung von Basen auf ihre Salze, ebenso auch bei Reaktionen zwischen Säuren und einem entsprechenden Ueberschuß der Basen, ferner bei der Zersetzung von Salzen durch Wasser (Hydrolyse). Nicht zu allen „Neutralsalzen" gehören auch saure bzw. basische Salze. Letztere findet man vorwiegend bei mehrbasischen Säuren bzw. mehrsäurigen Basen; sie werden auch mit Rücksicht auf die bei ihrer Bildung erfolgte nur partielle Sättigung der Säure- oder Basen-Wertigkeiten (der ersten, der ersten und zweiten usw. Stufe) als primäre, sekundäre usw. Salze der betreffenden mehrwertigen Säure oder Base bezeichnet.

Doppelsalze entstehen durch gemeinsame Kristallisation zweier Salze aus Lösungen oder Schmelzflüssen. Ihre Kristalle enthalten die Komponenten in bestimmten stöchiometrischen Verhältnissen. In Lösung erfolgt jedoch eine Spaltung in die Komponenten, die in der Regel praktisch vollständig ist. Doppelsalze, die schwerer löslich sind, als ihre Komponenten, scheiden sich beim Zusammenbringen der gesättigten Lösungen der letzteren aus. Diese Darstellungsmethode, bei der als unterstützende Operationen noch Einengen oder zweckmäßige Temperaturänderungen gebräuchlich sind, ist die gewöhnliche. Die Gewinnung durch Erstarrenlassen der gemeinsamen Schmelze ist seltener. Manche Doppelsalze zeigen auch in Lösung keinen vollständigen Zerfall in ihre Komponenten und bilden so Uebergänge zu den komplexen Salzen. Letztere

Digitized by Google

entstehen z. T. gleichfalls durch Vereinigung zweier Salze (so z. B. die sogenannten Doppelcyanide, die jedoch eben keine Doppelsalze sind). Charakteristisch ist für sie aber die Erscheinung, daß sie in Lösung fortbestehen und die Reaktionen der Komponenten in stark vermindertem Maße oder überhaupt nicht mehr erkennbar geben. So gibt das Ferrocyankalium zwar noch die Reaktionen der Kalisalze (ist also selbst ein Kalisalz), jedoch weder die gewöhnlichen analytischen Reaktionen der Cyanide noch die der Ferrosalze (ist also kein Cyanid und auch kein Ferrosalz) obwohl es aus Ferrocyanid und Kaliumcyanid entsteht.

Die Bildung komplexer Salze äußert sich vielfach in abnorm großer Löslichkeit sonst schwerlöslicher Stoffe, z. B. des Cyansilbers in Lösungen leichtlöslicher Cyanide. Zur Darstellung von komplexen Salzen der genannten Art kann man die beiden Komponenten in gemeinsame Lösung bringen oder auch gelegentlich zusammenschmelzen, ferner auch die wechselseitige Umsetzung nicht äquivalenter Mengen der entsprechenden Salze (z. B. von Silbernitrat und Cyankalium) benutzen. Die Trennung der Produkte kann dann durch Kristallisation unter Benutzung verschiedener Löslichkeit erfolgen. Eine andere Art von komplexen Salzen entsteht durch Addition von Stoffen nicht salzartigen Charakters an Salze. Besonders verbreitet sind die durch Addition von Ammoniak entstehenden komplexen Verbindungen.

Aber auch viele andere Stoffe können die gleiche Rolle spielen, wie das Ammoniak. Solche Verbindungen erhält man meist einfach durch Zusammenbringen der Komponenten, teils in Lösung, teils auch in reinem Zustande (Ueberleiten von Ammoniakgas usw.).

5e) Darstellung von Verbindungen der Metalloide untereinander. Von binären Verbindungen (je zwei Elemente) sind vor allen Dingen zu nennen die Halogenverbindungen, die Oxyde, Sulfide (auch Selenide usw.), Nitride, Carbide, von ternären (drei Elemente) die Oxyhalogenide. Halogenverbindungen gewinnt man vielfach durch Einwirkung der Halogene auf die Elemente selbst (Schwefel, Phosphor) oder auch auf ein erhitztes Gemisch von Oxyd und Kohle (Silicium, Bor), weiter auch aus den Wasserstoffverbindungen und Halogen (Kohlenstofftetrachlorid aus Methan oder Chloroform; Chlorstickstoff aus Ammoniak oder Chlorammonium) oder durch Halogenieren sonstiger Derivate (Kohlenstofftetrachlorid aus Schwefelkohlenstoff und Antimonpentachlorid). Die Oxyde liefern Halogenverbindungen ausnahmsweise auch mit Halogenwasserstoff (Siliciumfluorid aus Siliciumdioxyd und Fluorwasserstoff; Anwesenheit wasserentziehender Mittel ist erforderlich). Die Oxyde entstehen teilweise bei direkter Verbrennung der Elemente oder geeigneter Verbindungen (Schwefel und Metallsulfide, Phosphor, Stickstoff, Kohlenstoff); teilweise, soweit sie nämlich Säureanhydride sind, durch Entwässerung der entsprechenden Säuren. Manchmal erfolgt diese freiwillig (Kohlensäure → Kohlendioxyd; schweflige Säure → Schwefeldioxyd — beides unter bestimmten Konzentrationsverhältnissen; Gleichgewicht); teilweise ist höhere Temperatur oder Gegenwart wasserentziehender Mittel erforderlich (Siliciumdioxyd aus Kieselsäure durch Erhitzen, Kohlenoxyd aus Ameisensäure durch konzentrierte Schwefelsäure). Andere Oxyde bilden sich bei der Reduktion von Säuren (Chlordioxyd aus Chlorsäure und Salzsäure; niedere Stickstoffoxyde aus Salpetersäure durch Reduktionsmittel). Auch die Sulfide können aus den Elementen dargestellt werden, indem man die Komponenten zusammenschmilzt (Phosphor) oder das betreffende Element in Schwefeldampf auf genügend hohe Temperatur erhitzt (Bor, Silicium, Kohlenstoff). Auch Schwefelwasserstoff kann bisweilen statt des Schwefeldampfes benutzt werden (Silicium). Andererseits geben einzelne Wasserstoffverbindungen bei der Einwirkung von Schwefelderivaten Sulfide (Ammoniak mit Chlorschwefel gibt Schwefelstickstoff). Die Nitride erfordern zu ihrer Darstellung aus den Elementen stets höhere Temperaturen (Silicium, Bor; Cyan aus Kohlenstoff und Stickstoff im elektrischen Lichtbogen — keine Darstellungsmethode). Statt der Elemente kann man teilweise auch eine Mischung von Oxyd mit Kohle benutzen (Titan). Cyan wird bequem nur durch Zersetzung von Cyaniden edlerer Metalle durch Erhitzen erhalten. Auch die Carbide entstehen aus den Elementen erst in der Hitze. Man gewinnt sie durch Erhitzung der Oxyde mit überschüssigem Kohlenstoff im elektrischen Lichtbogenofen (Bor, Titan), auch durch Widerstandserhitzung des Gemisches selbst (Silicium). Oxychloride und andere Oxyhalogenide bilden sich aus Oxyden und Halogen, teilweise unter Mitwirkung katalytischer Einflüsse (Kohlenoxychlorid aus Kohlenoxyd; Sulfurylchlorid aus Schwefeldioxyd; Nitrosylchlorid und Nitrylchlorid aus Stickstoffdioxyd); in anderen Fällen entstehen sie durch Austausch eines Teils des Halogens der Halogenide gegen Sauerstoff (Silicium; Titan — beide beim Erhitzen mit Sauerstoff; Phosphor — bei der Einwirkung von wenig Wasser). Andere, weniger wichtige oder kompliziertere Verbindungen zwischen Nichtmetallen sollen hier übergangen werden.

Digitized by Google

Anmerkung. Bezüglich methodischer Einzelheiten der präparativen Verfahren sei auf den Artikel „Chemische Arbeitsmethoden", hinsichtlich der apparativen Seite auf den Artikel „Chemische Apparate" hingewiesen.

Literatur. **Abegg-Auerbach,** *Handbuch der anorganischen Chemie, Leipzig seit 1905.* — **Beilstein,** *Handbuch der organischen Chemie, Hamburg und Leipzig.* — **Bender-Erdmann,** *Chemische Präparatenkunde, Stuttgart 1894.* — **H. und W. Biltz,** *Uebungsbeispiele aus der unorganischen Experimentalchemie, Leipzig 1907.* — **O. Dammer,** *Handbuch der anorganischen Chemie, Stuttgart 1892 bis 1903.* — **Gmelin-Kraut-Friedheim-Peters,** *Handbuch der anorganischen Chemie, Heidelberg.* — **Graham-Otto-Michaelis,** *Ausführliches Lehrbuch der anorganischen Chemie, Braunschweig.* — **Lassar-Cohn,** *Arbeitsmethoden für organisch-chemische Laboratorien, Hamburg und Leipzig 1906.* — **Weyl,** *Die Methoden der organischen Chemie, Leipzig seit 1903.*

A. Thiel.

Priapulidae.

1. Begriff. 2. Aeußere Form. 3. Hautmuskelschlauch. 4. Nervensystem. 5. Leibeshöhle. 6. Urogenitalapparat. 7. Ontogenie. 8. Verbreitung.

1. Begriff. Die Priapuliden bilden eine kleine, nur auf wenige Formen beschränkte Gruppe der Würmer, die im System meistens als eine besondere Familie der Gephyrea achaeta aufgeführt werden.

Die einzigen bis jetzt bekannten Vertreter sind Halicryptus spinulosus v. Sieb., Priapulus caudatus Lam. und Priapulus bicaudatus Danielssen. Die Unterschiede der letzten Art hat man auch als so bedeutend angesehen, daß man aus ihr eine besondere Gattung Priapuloides typicus Kor. u. Dan., machte, wie man auch auf Grund sehr geringer Abweichungen noch einige Unterformen bei Priapulus caudatus unterschieden hat.

2. Aeußere Form. Der Körper stellt im allgemeinen einen zylinderförmigen Schlauch dar, an dessen einem Ende die Mundöffnung, an dessen anderem die Afteröffnung sich befindet. Der vordere kürzere Abschnitt dieses Schlauchs zeichnet sich durch das Vorhandensein von Längsfurchen aus, die durch eine größere Anzahl von parallel zur Längsachse verlaufenden Rippen hervorgerufen werden, welche ihrerseits von kleinen, einreihig hintereinander stehenden Hautpapillen gebildet sind. Bei Priapulus ist er durch eine stärkere Einschnürung von dem übrigen Körper abgesetzt und nimmt dadurch die Form einer Eichel an. Der übrige größere Abschnitt, der Körper im eigentlichen Sinne oder der „Stamm" zeigt zahlreiche, bei Halicryptus flache, bei Priapulus stärkere, aber immerhin nur äußerliche zirkuläre Furchen, durch die ebensoviele schmale Körperringe gebildet werden. Auf jedem dieser Ringe stehen in wechselnder Anzahl und Entfernung ebenfalls Papillen, die in ihrer unregelmäßigen Verteilung diesem ganzen Körperteil ein schwach stachlich rauhes Ansehen verleihen.

Zu diesen Körperabschnitten kommt bei Priapulus noch ein Schwanzanhang hinzu, der aus einem zentralen Schaft mit zahlreichen seitlichen, traubenartigen Ausstülpungen besteht. Bei Priapulus caudatus findet sich ein solcher Schwanzanhang, etwas seitlich vom Anus dem Körper angeheftet, bei Priapulus bicaudatus zwei.

3. Hautmuskelschlauch. Die äußere Oberfläche des Körpers wird durch eine chitinartige Cuticula gebildet, bei der zwei

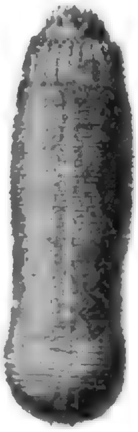


Fig. 1. Halicryptus spinulosus v. Sieb. Ansicht von der Bauchseite. Zweimal vergrößert. Nach Théel.

Lagen zu unterscheiden sind, eine äußere homogene und eine innere dickere und im Querschnitt parallel gestrichelte. In der Flächenansicht lassen sich bei letzterer zwei Systeme von fast unter 90° sich kreuzenden Linien erkennen, durch die sie den Anschein erhält, als wäre sie aus einzelnen, dicht nebeneinander stehenden rautenförmigen Feldern zusammengesetzt. Die Matrix der cuticularen Schicht ist eine Hypodermis, gebildet aus einer Lage sonst ziemlich niedriger, in der Umgebung des Zentralnervensystems aber lang gestreckter Zellen. Zwischen ihnen befinden sich, wenigstens im konservierten Zustand, zahlreiche Intercellularräume, wodurch die Hypodermis, abgesehen von der Nachbarschaft der Zentralnerven, netzartig aufgebaut erscheint. — Die Hypodermis bildet auch zusammen mit der Cuticula die oben erwähnten zahlreichen Hauptpapillen. Bei Priapulus weisen die auf dem Rüssel und dem Stamm befindlichen, dort mehr kegel-, hier mehr zylinderförmigen kleinen Auswüchse der Körperoberfläche einen über-

Digitized by Google

einstimmenden Bau auf. Nach außen vorgewölbte Erhöhungen der Cuticula werden ausgefüllt durch langgestreckte Zellen der Hypodermis, die vom Mittelpunkt der Basis gegen die Wand hin ausstrahlen. In den auf den letzten Ringen des Körperstammes oft dicht gedrängt vorkommenden warzenförmigen Erhebungen sind die Hypodermiszellen stärker verändert; sie bilden dort ein

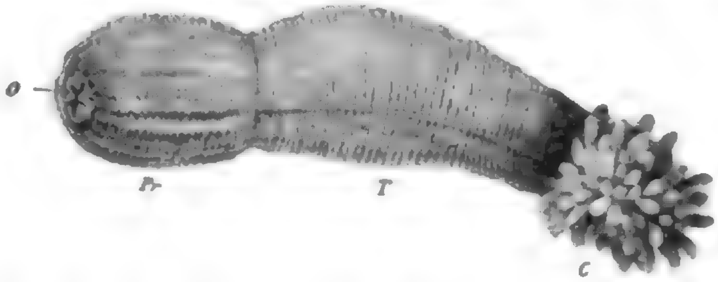


Fig. 2. Priapulus caudatus Lam. Von der Bauchseite. Etwa zweimal vergrößert. Nach Ehlers. O Mundöffnung, Pr Rüssel, T Stamm, C Schwanzanhang.

Gewebe von feiner retikulärer Struktur; die über die „Warzen" sonst gleichmäßig herüberziehende Cuticula erhebt sich hier und da in Gestalt von kleinen Hohlkegeln mit

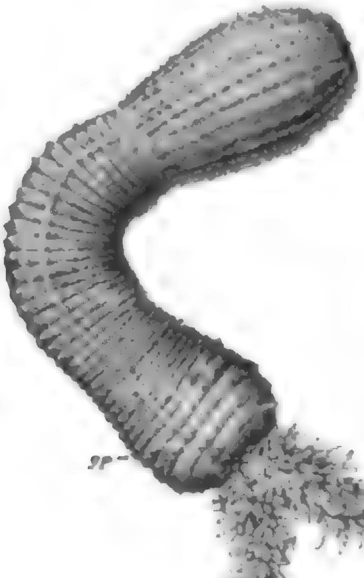


Fig. 3. Priapulus bicaudatus. Daniels. Etwa zweimal vergrößert. Nach Théel. gP Oeffnungen der Urogenitalschläuche.

feinen Oeffnungen an den Spitzen. Die Rüsselpapillen von Halicryptus sind trotz ihrer abweichenden backenzahnähnlichen äußeren Form im Prinzip ebenso gebaut wie die beiden zuerst erwähnten Papillenarten bei Priapulus. — Die scharfen Spitzen, die in größerer Anzahl bei Halicryptus auf der Oberfläche des Stammes zerstreut stehen, haben als Grundgestalt einen abgestumpften cuticularen Hohlkegel, an dessen vorderes Ende sich eine lange, haarförmig ausgezogene Spitze anschließt. Ueber den Bau des hypodermalen Kegels, der diese Erhebungen ausfüllt, lauten die Angaben nicht übereinstimmend. Während nach Apel das hypodermale Gewebe in ihm große Uebereinstimmung zeigt mit dem der „Warzen" am Stammende von Priapulus, und es nach ihm auch zweifelhaft ist, ob es sich in den feinen und zwar an der Spitze geschlossenen cuticularen Kanal am Ende des Kegels hineinerstreckt, unterscheidet Scharff drei Arten von Zellen, von denen die am meisten zentral gelegenen fadenförmig sind und in lange Haare enden, die in die weit ausgezogenen Spitzen nicht nur hineinragen, sondern sogar durch eine feine Oeffnung an ihrem äußersten Ende heraustreten. — Alle diese verschiedenen Hautpapillen der Priapuliden wird man teils als Tast-, teils als Drüsenorgane aufzufassen haben. Einzellige Drüsen kommen überdies, wie bei den Oligochaeten, überall zwischen die Hypodermiszellen eingesprengt vor. — Auf die Hypodermis — ob von ihr durch eine Basalmembran oder durch eine unscheinbare Cutislage getrennt, darüber lauten die Angaben verschieden — folgt die Muskulatur. Unmittelbar unter der Haut liegen die Ringmuskeln; sie sind scharf in einzelne Bündel gesondert und rufen dadurch die charakteristische Ringelung der Körperoberfläche hervor. Feinfaseriges Bindegewebe ist zwischen diese Muskelschichten reichlich eingelagert. Auf sie folgt nach innen hin eine gleichmäßige (abgesehen von der unmittelbaren Umgebung des Bauchmarks), nicht in einzelne Bündel geteilte Lage von Längsmuskeln, die dann ihrerseits gegen die Leibeshöhle hin mit einem dünnen, strukturlosen Peritoneum überzogen ist. — Von dieser Ausbildung der Muskulatur im Körperstamm weicht die im Rüssel befindliche etwas ab. Die Ringmuskeln liegen hier nur an den zwischen den einzelnen oben erwähnten Längsrippen befindlichen Regionen der Hypodermis dicht an, dagegen nicht unterhalb der sich etwas nach außen wölbenden Rippen selbst; dadurch werden unter den Rippen laufende Längskanäle gebildet (wie bei Sipunculus als Integumentalkanäle bezeichnet), die durch Lücken in der Ringmuskulatur mit der Leibeshöhle in Verbindung stehen. Die Längsmuskula-

Digitized by Google

tur des Rüssels ist nicht einheitlich, sondern in einzelne Bündel geteilt, die nicht unterhalb der Rippen, sondern nur an den zwischen diesen gelegenen Partieen verlaufen. Außerdem kommt im Rüssel — auch im Gegensatz zum Stamm — noch eine dritte Muskellage hinzu, die „Rippenmuskeln", dünne Längsmuskelbündel, die zu je zwei die Rüsselrippen einfassen und zwar seitlich von den Integumentalkanälen und zwischen Hypodermis und Ringmuskulatur. — Endlich ist noch je ein System kurzer und langer Rüsselretraktoren vorhanden, die sich mit ihrem oralen Ende in der Gegend des Schlundringes, mit ihrem kaudalen teils an der inneren Wand des Rüssels, teils an der des Stammes inserieren. Sie sind als Teil der Längsmuskulatur zu betrachten und mit Peritoneum überzogen. — Was den feineren Bau all dieser Muskeln anbelangt, so sind es typische Röhrenmuskeln. Die einzelnen Fasern besitzen einen zentralen protoplasmatischen Kanal mit zahlreichen Kernen, um den sich peripher die ziemlich scharf voneinander getrennten Fibrillen radiär anordnen. Ueberdies weisen die Fasern, die sich übrigens bei den Längsmuskeln leicht isolieren lassen, während dies bei den Ringmuskeln nicht möglich ist, da sie durch zahlreiche Anastomosen miteinander verknüpft sind, eine ausgezeichnete Querstreifung auf. — Der Schwanzanhang von Priapulus, der als eine Ausstülpung des hinteren Körperendes zu betrachten ist, zeigt einen ähnlichen Bau wie die Körperwand selbst. An seinem zentralen hohlen Schaft folgt auf die Cuticula und die Hypodermis zunächst auch eine, wenn auch schwache, so doch zusammenhängende Ringmuskelschicht, und auf diese Längsmuskeln, die aber in einzelne Bündel geordnet sind. In den Intervallen zwischen diesen Bündeln befinden sich die Mündungen der dem Schaft seitlich aufsitzenden traubenartigen Papillen, deren Wände eine ganz schwache Muskulatur besitzen und deren innerer Hohlraum von einem Netzwerk ganz feiner Muskelfibrillen durchsetzt wird. Hautpapillen, gebaut wie die Rüsselpapillen, kommen ebenfalls vor. Ein Porus am Ende des Schaftes, also ein Oeffnung der Leibeshöhle nach außen, ist nicht vorhanden entgegen der ursprünglichen Annahme. Der gesamte Anhang wird als Kieme zu deuten sein.

4. Nervensystem. Das Zentralnervensystem besteht aus einem von der Mundöffnung bis zum After sich erstreckenden Bauchstrang, der am oralen Ende in einen den vordersten Abschnitt des Pharynx eng umfassenden Schlundring übergeht. Er wird gebildet durch einen Faserstrang, den in seiner ganzen Ausdehnung zu beiden Seiten Ganglienzellen begleiten. In seinem gesamten Verlauf liegt er in der Hypodermis und steht durch ein Zwischengewebe mit ihr in enger Verbindung. Eine Segmentierung ist im allgemeinen an ihm nicht zu bemerken; an seinem Ende unmittelbar vor dem After besitzt er aber eine leichte ganglionäre Anschwellung, und in den regelmäßigen Zwischenräumen zwischen den einzelnen Bündeln der Ringmuskulatur befindet sich eine größere Anhäufung von Ganglienzellen wie in seinem übrigen Verlauf.

Kurz vor der Abzweigung des Schlundringes kommen bei Halicryptus drei solche Ganglienmassen vor, die sich von den übrigen durch ihre Größe unterscheiden und vielleicht dem unteren Schlundganglion der Anneliden entsprechen. Der Schlundring selbst besitzt keine derartigen Anschwellungen. — In dem ganzen Verlauf des Bauchmarkes treten von ihm seitlich periphere Nerven ab, an den oben erwähnten Ganglienzellenanhäufungen aber in etwas größerer Zahl wie an den übrigen Stellen, so daß der Eindruck einer beginnenden Metamerie noch erhöht wird. Die peripheren Nerven bilden jedoch keinen geschlossenen Ring wie etwa bei Sipunculus, sondern lösen sich bald in Fasern auf, die immer feiner und feiner werden, bis aus ihnen schließlich ein Plexus feinster Nervenfäserchen entsteht. Bei Halicryptus findet man der unteren Fläche der Hypodermis aufliegend ein ausgezeichnetes, sich über die ganze Körperfläche verbreitendes Flechtwerk, gebildet von anastomosierenden Nervenfäserchen, in deren Verlauf Ganglienzellen eingeschaltet sind (ganz ähnlich wie z. B. beim Epidermoidalplexus des peripheren Nervensystems von Sagitta). Im Umkreis der stachelförmigen Papillen ist der Plexus besonders dicht und entsendet zu diesen Organen feinste Nervenfäserchen. — Auch vom Schlundring ziehen periphere Nerven ab und zwar sowohl zur Körperwand wie zum Schlundkopf; auf letzterem hat man vier Längsnerven unterschieden, die durch Ringnerven wieder miteinander verbunden sind.

5. Leibeshöhle. Vom Hautmuskelschlauch eingeschlossen befindet sich die große, völlig einheitliche, durch keine Dissipimente geteilte Leibeshöhle. Sie steht in Verbindung mit den oben geschilderten Integumentalkanälen des Rüssels und bei Priapulus mit dem Hohlraum des Schwanzanhanges, von dem sie jedoch durch einen Sphincter abgeschlossen werden kann. Sie ist gefüllt mit Flüssigkeit, in der die Leibeshöhlenkörperchen in sehr großer Anzahl suspendiert sind. Es sind dies einfache Zellen, von denen zwei Haupttypen zu unterscheiden sind, die durch mannigfache Uebergänge miteinander verknüpft werden. Die einen, die kleineren zeigen lebhafte amöboide

Digitized by Google

Bewegungen; die anderen größeren besitzen dagegen umfangreiche Vakuolen. Zwischen den einzelnen Muskelbündeln des ganzen Körpers, in der Darmwand, in den Mesenterien usw. befinden sich in reicher Zahl amöboide Bindegewebszellen, die in dem Gewebe umherkriechen und sogar in die Leibeshöhle hineinwandern. Es ist wahrscheinlich, daß sich die Leibeshöhlenkörperchen aus solchen Zellen rekrutieren.

Der sehr einfache Darmkanal verläuft in gerader Linie vom Mund bis zum After; ein Mesenterium, das ihn mit der Körperwand verbindet, fehlt. Drei Abschnitte, die durch Einschnürung voneinander geteilt sind, lassen sich an ihm unterscheiden. Der vorderste, der Schlundkopf, ist sehr muskulös. Auf eine äußere dünne Längsmuskelschicht folgt eine innere sehr starke Ringmuskellage, die noch von Radiärmuskeln durchzogen wird. Hypodermis und Cuticula erstrecken sich auch in den Pharynx hinein und kleiden ihn innen aus. Sie bilden auch hier zahlreiche, in Reihen stehende Papillen, die jedoch viel größer sind wie die an der äußeren Körperoberfläche. Einer Zellenmatrix sitzen kräftige, hornartige, vielspitzige Gebilde auf, die die Gestalt und Funktion von Zähnen besitzen. Mittel- und Enddarm haben eine äußere Lage von Längs-, eine innere von Ringmuskeln, die nach demselben Typus wie die Körpermuskulatur gebaut sind, nur daß hier der innere protoplasmatische Teil der röhrenförmigen Muskelfasern im Vergleich zum äußeren fibrillären viel mächtiger entwickelt ist. — Unmittelbar unter dem Darmepithel kommt dann noch eine dritte Lage sehr feiner, sich nach allen Richtungen hin kreuzender Muskelfibrillen hinzu. — Die Darmepithelzellen sind ungewöhnlich lang und schmal, sie besitzen am oberen Ende eine kolbige Anschwellung mit einem Saum sehr kurzer und feiner, wahrscheinlich flimmernder Haare. Zwischen den Zellen kommen fast regelmäßig in mehr oder weniger großer Menge kleine linsenförmige, grünlichbraune Körperchen vor, die parasitärer Natur sind. Die ganze Darmwand wird überall von einem System feinster Kanälchen durchzogen, die eingebettet sind in dem reichlich zwischen den Muskeln lagernden Bindegewebe und die wohl als Chylusgefäße zu deuten sind.

6. Urogenitalapparat. Durch ein Mesenterium an der Körperwand befestigt sind in der Leibeshöhle zwei große, oralwärts spitz auslaufende, analwärts kolbig angeschwollene Schläuche, die seitlich vom After nach außen münden. Ihre aus feinen Muskeln und Bindegewebe bestehende Wand ist mit Flimmerepithel bekleidet, dessen Wimpern wenig zahlreich und kurz sind. Nach der Leibeshöhle hin, frei in sie hineinragend, entspringen von diesen Schläuchen kurze Kanäle, — bei Halicryptus sind es jederseits gewöhnlich vier —, die sich bald in ausgiebiger Weise verästeln und dadurch den Eindruck von gedrungenen, buschigen Bäumchen hervorrufen. Es sind die Exkretionsorgane. Am Ende jedes der aus der Verzweigung resultierenden feinsten Kanälchen befinden sich einzelne, oder zu einer Gruppe vereinigt, mehrere birnenförmige Zellen, deren jede im Besitz eines äußerst langen, ihre eigene Größe um das mehrfache übertreffenden, flimmernden Geißelhaares ist, das weit in die feinen Endkanälchen hineinragt. Die Exkretionsorgane der Priapuliden sind demnach nach dem Typus der Solenocyten gebaut.

An der den Exkretionsorganen gerade entgegengesetzten Seite, dort, wo sich an sie das Mesenterium anheftet, bilden die beiden oben erwähnten großen Schläuche bei jungen Tieren kleine Falten, die in das Mesenterium hineinwuchern und aus denen schließlich kleine Schläuche werden, die bei weiblichen Individuen meistens unverzweigt bleiben, bei männlichen jedoch eine sehr lebhafte Verästelung erleiden. Aus dem Epithel dieser Schläuche entstehen die Geschlechtsprodukte, Eier oder Sperma. Diese fallen nach ihrer Reife, im Gegensatz zu den Gephyreen, nicht in die Leibeshöhle hinein, sondern geraten in die großen flimmernden Schläuche, die also sowohl als Ausfuhrgänge der Exkretionsorgane als auch der Sexualprodukte dienen, und aus diesen ins Freie. Dadurch daß die ursprünglich kleinen, einfachen Schläuche der Ovarien ungemein an Größe zunehmen (sich namentlich nach der Breite hin sehr ausdehnen, während ihr Lumen stark reduziert wird, so daß sie den Eindruck großer platter Lamellen machen), sowie durch die immer weiter fortschreitende Verzweigung der Hodenschläuche wird bei älteren Tieren der ursprünglich so einfache Bau der Geschlechtsorgane äußerst kompliziert.

7. Ontogenie. Die Ontogenie der Priapuliden ist unbekannt; erst nach ihrer Klarstellung werden sichere Urteile über ihre systematische Stellung abgegeben werden können.

8. Verbreitung. Priapulus caudatus ist in den nordischen und arktischen Meeren weit verbreitet und wahrscheinlich zirkumpolar. Da nach neuen Untersuchungen die in der Antarktis vorkommende Form keine bemerkbaren Unterschiede von der nördlichen aufweist, so liegt hier offenbar außerdem auch der interessante Fall einer bipolaren Verbreitung vor. Priapulus bicaudatus ist bis jetzt nur aus den westlich und nördlich von Norwegen gelegenen Teilen des Atlantischen Ozeans und des Eismeeres bekannt.

Digitized by Google

Die Verbreitung von Halicryptus ist allein auf die Ostsee und das Eismeer beschränkt. Sämtliche drei Vertreter leben in schlammigem Boden, in dessen oberflächlichen Schichten sie umherkriechen.

Literatur. ***E. Ehlers,*** *Ueber die Gattung Priapulus. Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. 9. 1861.* — ***Derselbe,*** *Ueber Halicryptus spinulosus. Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd 11. 1862.* — ***R. Horst,*** *Zur Anatomie und Histologie von Priapulus bicaudatus. Dan. Niederl. Archiv f. Zoologie. Supplement. Bd. I. 1881 bis 1882.* — ***W. Apel,*** *Beitrag zur Anat. u. Histol. d. Priapulus caudatus (Lam.) u. d. Halicryptus spinulosus (v. Sieb.). Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 42. 1885.* — ***H. Schauinsland,*** *Die Exkretions- u. Geschlechtsorgane d. Priapuliden. Zool. Anzeiger. Bd. 9. 1886.* — ***Derselbe,*** *Zur Anat. d. Priapuliden. Zool. Anz. Bd. 10. 1887.* — ***H. Theel,*** *Northern and arct. invertebr. in the coll. of the Swedish State Museum. II. Priapulids, Echiurids. K. Svensk. Vetenskaps. Handlingar. N. F. 1906.* — ***L. A. Moltschanov,*** *Beitrag zur Morphologie und Physiologie der Priapuliden. Bull. Acad. St. Petersbourg (6). Tome. 1908.*

H. Schauinsland.

Priestley

Joseph.

Geboren 1733 in Fieldhead bei Leeds, ist nach einem höchst bewegten Leben, das ihn in den verschiedensten Gebieten des Wissens als Sprachlehrer, Philosoph, Historiker, Theologe und als Chemiker tätig werden ließ, im Jahre 1804 als Prediger einer Dissidentengemeinde in Amerika gestorben. Seine wichtigsten chemischen Arbeiten fallen in die Jahre 1772 bis 1779. Als scharfer Beobachter war er imstande, im Bereiche der pneumatischen Chemie wichtigste Entdeckungen zu machen, obwohl er mit seiner chemischen Ausbildung ganz auf sich selbst angewiesen war. Zu jener Zeit waren außer der Luft, deren Zusammensetzung man noch nicht erkannt hatte, als besondere Gase nur die Kohlensäure und der Wasserstoff bekannt. Priestley hatte den glücklichen Einfall, die Gase statt wie früher über Wasser, über Quecksilber aufzufangen. So gelang es ihm, eine Reihe solcher Gase, die sich wegen ihrer Löslichkeit in Wasser der Kenntnis entzogen hatten, z. B. Ammoniak, Salzsäuregas, schweflige Säure, Siliciumfluorid, nachzuweisen. Den Ruhm, den Sauerstoff entdeckt zu haben (1774), muß er mit Scheele teilen, der schon zwei Jahre früher diese Beobachtung von größter Tragweite gemacht hatte, aber sie nicht rechtzeitig veröffentlichen konnte. Priestley ist eifrigster Anhänger der Phlogistonlehre bis zu seinem Tode geblieben, obgleich er selbst gerade seinem Gegner Lavoisier die schärfsten Waffen zum Sturz dieser Lehre geliefert hat. Ueber sein Leben und Wirken vgl. Thorpe: Essays in historical Chemistry, S. 28ff.

E. von Meyer.

Pringsheim

Nathanael.

Er wurde am 30. November 1824 in Wziesko (Oberschlesien) geboren. Er studierte von 1843 bis 1844 in Breslau, dann ein Jahr in Leipzig Medizin und Naturwissenschaften, schließlich von 1845 bis 1847 in Berlin nur mehr die letzteren, wo er nach vorübergehender Teilnahme an der Revolution im Jahre 1848 promovierte. Nach kurzem Studienaufenthalt in Paris und London in den Jahren 1848 und 1849 habilitierte er sich 1850 in Berlin als Privatdozent der Botanik. Im Jahre 1857 gründete er die „Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik“, von welchen noch zu seinen Lebzeiten unter seiner Redaktion 26 Bände erschienen. 1860 wurde er Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Berlin. 1864 siedelte er als ordentlicher Professor der Botanik und Nachfolger Schleidens nach Jena über, wo für ihn auch ein pflanzenphysiologisches Institut gegründet wurde. Er verließ diese Stellung jedoch bereits im Jahre 1868 wieder, um sich in Berlin ganz seinen wissenschaftlichen Studien zu widmen. Hier starb er am 6. Oktober 1894.

Pringsheims wissenschaftliches Hauptverdienst ist die Aufhellung der Sexualität und Befruchtungsgeschichte einer Reihe von Algen und von Wasserpilzen (Saprolegniaceen), über die er eine Reihe klassischer Arbeiten, auf sorgfältigen mikroskopisch-entwickelungsgeschichtlichen Studien fußend, veröffentlichte. Seine algologischen Arbeiten, an die Studien Thurets über Fucus anknüpfend, behandelten unter anderem ebenfalls Meeresalgen, denen er sich in wiederholten Reisen nach Helgoland, ans Mittelmeer usw. widmete (1862), ferner Vaucheria (1855), die Oedogoniaceen und Coleochaeten (1856 bis 1858), die Volvocineen (1859), Hydrodictyon (1860), die Characeen (1863), die Paarung der Schwärmsporen bei Pandorina (1869) usw. Die Sexualität und Befruchtungsgeschichte der Saprolegniaceen wurde 1851, 1858, 1859, 1873 und 1882, die Entwickelung von Salvinia natans 1863 beschrieben. Diese Arbeiten erschienen teils in seinen „Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle“ (Berlin 1854), zum größten Teil aber in den Monatsberichten und Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften und den von ihm herausgegebenen „Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik“. An diesen Stellen veröffentlichte er auch die Ergebnisse seiner sich von 1874 bis 1887 hinziehenden weniger glücklichen Untersuchungen über das Chlorophyll, dessen optische, chemische und morphologische Verhältnisse er behandelte.

Literatur. ***Ferdinand Cohn*** *in den Berichten der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Bd. 13, 1895, S. (10)—(33).*

W. Ruhland.

Digitized by Google

Prinzipien der Physik.

Einleitung. I. Prinzipien a priori: 1. Erkenntnisquellen der Prinzipien. 2. Prinzipien der reinen Anschauung. 3. Prinzipien des reinen Denkens. 4. Praktische Prinzipien. 5. Allgemeine Erhaltungsprinzipe. 6. Der Kraftbegriff und das physikalische Gesetz. Fern- und Nahwirkung. Aktio und Reaktio. 7. Teleologische Prinzipien. 8. Das Relativitätsprinzip. II. Prinzipien a posteriori: 1. Stoffabgrenzung. 2. Mechanik: a) Statik; b) Dynamik. 3. Thermodynamik. 4. Physik des Aethers. 5. Spezielle Prinzipe.

Einleitung. Die physikalische Wissenschaft bietet trotz der Fülle ihrer Entdeckungen und praktischen Erfolge dem oberflächlichen Beobachter nicht das Bild eines geordneten Staatswesens, dem durch systematische, hartnäckige Kämpfe ständig neue, fruchtbare Provinzen angegliedert werde, sondern eher das einer recht anarchistischen Gemeinschaft, die zwar nach außen mit Kraft und Kühnheit sich ausbreitet, im Innern aber noch zu keinen anerkannten Grundlagen gekommen, sondern stets von Umstürzen und revolutionären Neuerungen bedroht ist. In der Tat kann eine auf ständig fortschreitender und verfeinerter Naturbeobachtung beruhende Disziplin niemals zu absolut feststehenden Grundsätzen gelangen, ohne selbst zu erstarren; und doch haben sich von jeher die besten Geister, Philosophen und Physiker, mit der Frage beschäftigt, ob es nicht allgemeine Prinzipien gäbe, die der physikalischen Forschung zugrunde liegen und sich durch die Entwickelung hindurch wesentlich unverändert erhalten. Im folgenden soll nicht versucht werden, alle möglichen Antworten zusammenzustellen, die auf diese Frage gegeben worden sind, sondern einen Ueberblick über die Sätze zu gewinnen, die sich dem heutigen Physiker als Prinzipien seiner Wissenschaft darbieten.

Die Physik selbst faßt unter dem Terminus „Prinzipien" oder „Prinzipe" wesentlich heterogene Dinge zusammen. Zuerst und hauptsächlich versteht man darunter allgemeine Aussagen und Sätze, die selbst nicht eigentlich physikalischer Natur sind, die aber aller physikalischen Forschung zugrunde liegen, also philosophische Schemata des Denkens und der Anschauung, Axiome und Postulate logischen oder metaphysischen Ursprungs. Im Anschluß an Kants Terminologie wollen wir sie Prinzipien a priori nennen, ohne damit über ihren Ursprung in der Erkenntnis mehr aussagen zu wollen, als daß er „nicht physikalisch" ist. Zweitens bezeichnet man so jene allgemeinsten Sätze der Physik, durch welche die Resultate ganzer Gebiete auf den kürzesten Ausdruck gebracht, gewissermaßen in eine Formel axiomatisch zusammengefaßt werden. Man kann diese Art von Prinzipien, deren tatsächlicher Gültigkeitsbereich recht verschiedenen Umfang je nach der Art des Gebietes hat, vielleicht dadurch charakterisieren, daß man sie als Vorstufen für eine ideale „Weltformel" ansieht, die alles physikalische Geschehen umfassen soll. Wir wollen sie kurz Prinzipien a posteriori nennen. Endlich werden auch spezielle Gesetze, die historisch zu einer Sonderstellung gelangt sind, nicht selten als Prinzipe bezeichnet; wir fügen die Besprechung dieser „Spezialprinzipien" den Prinzipien zweiter Art an. Eigentlich verdienen nur die Prinzipien der ersten Art den Namen. Die anderen sind ständigen Wandlungen, Verschärfungen, Verallgemeinerungen unterworfen und haben zum großen Teil nur heuristischen Wert.

I. Prinzipien a priori.

1. Erkenntnisquellen der Prinzipien. Die physikalische Wissenschaft, die sich über das reine Experiment durch theoretische Deutung erhebt, ist aus der Mechanik herausgewachsen, und daher geht die Frage nach ihren Grundlagen zum großen Teil auf in der Frage nach den Prinzipien der Mechanik. Seit der ersten Aufstellung der letzteren durch Galilei und Newton ist auch die Frage nach den Erkenntnisquellen, aus denen sie stammen, stets von neuem aufgeworfen worden. Wir wollen hier nur die wichtigsten Richtungen ins Auge fassen. Der Empirismus behauptet, daß alle Naturwissenschaft, sogar die Geometrie, nur aus Erfahrung stamme. Diese bis auf Bacon zurückgehende Richtung, die, von Hobbes, Locke und anderen weitergeführt, in neuester Zeit in E. Mach ihren entschiedensten Vertreter gefunden hat, sieht die einzige Aufgabe der Forschung in Sammlung, Klassifizierung, höchstens Idealisierung beobachteter Tatsachen. Tatsächlich sind die wissenschaftlichen Sätze, speziell die der Physik, mehr als bloße Sammlungen von Einzelbeobachtungen, sondern allgemeine Behauptungen, die niemals die Rechtfertigung ihrer Gültigkeit, höchstens die ihrer Nützlichkeit, allein in der Erfahrung finden können. Der von Descartes, Spinoza und Leibniz begründete Rationalismus will die wahre Natur der Dinge durch reines Denken ergründen und stellt daher vor die Physik eine Prinzipienlehre (Metaphysik), die dies zur Aufgabe hat. Diese dogmatische Richtung taucht wohl auch heute noch vereinzelt in verschiedenen Formen auf, hat aber den Rang, den sie im 18. Jahrhundert behauptete, an den Kritizismus von Kant abtreten müssen, dem durch Humes Skeptizismus der Boden bereitet war. Für Kant ist die Erkenntnis kein Problem, sondern eine Tatsache; die Prinzipien der Wissenschaften sind weder empirisch noch rationalistisch dogma-

Digitized by Google

tisch zu erklären, sondern es sind Formen unseresDenkens, denen wir alle Einzeltatsachen unterordnen. Die allgemeinsten Prinzipien gehen vor aller Erfahrung, sie sind „a priori"; Kant läßt ihnen besondere Erkenntnisquellen unseres Verstandes entsprechen, die „reine Anschauung", deren Formen Raum und Zeit sind, und den „reinen Verstand", dessen Formen er „Kategorien" nennt. Auf dieser Basis haben sich alle weiteren exakten Untersuchungen über die Grundlagen der Physik aufgebaut. Von den Physikern selbst wurde Kants Lehre allerdings wenig beachtet, bis zu Kirchhoffs neuer Begründung der Mechanik (um 1870), der es als Aufgabe der Naturwissenschaften hinstellte, nicht die Natur zu erklären, sondern sie zu beschreiben. Auch Mach, der zur selben Zeit seinen neuen Empirismus zur Geltung brachte, hat gewisse Prinzipien (Denk-ökonomie usw.; vgl. I, 4), die selbst schwerlich Erfahrungssätze sind. Wie weit die Prinzipien wirklich a priori sind, d. h. auf besondere Erkenntnisquellen des Verstandes zurückgehen, oder wieweit sie einfach Konventionen sind, die auch einmal bei fortschreitender Wissenschaft durch andere ersetzt werden können, ist eine viel umstrittene Frage. Diesen Konventionalismus hat neuerdings besonders H. Poincaré vertreten.

2. Prinzipien der reinen Anschauung. Prinzipien der reinen Anschauung wollen wir mit Kant diejenigen stillschweigend von der Physik gemachten Voraussetzungen nennen, die sich auf den Raum und die Zeit, jede für sich betrachtet, beziehen; die wohl über die reine Anschauung hinausgehenden Prinzipien ihrer Verknüpfung im Begriffe des Ereignisses behandeln wir nachher im Abschnitt 8 (Relativitätsprinzip). Der Raum wird als dreidimensionale Euklidische Mannigfaltigkeit angesehen, die durch die Cartesische Koordinatenmethode am bequemsten mathematisch zu fassen ist. Die Zeit betrachten wir hier zunächst als eine vom Raume unabhängige eindimensionale Veränderliche. Ein Cartesisches Koordinatensystem zusammen mit einer Zeitskala nennen wir ein Bezugsystem. Vom Raume sowohl wie von der Zeit gilt in physikalischer Hinsicht das Prinzip der Homogenität, vom Raume außerdem das der Isotropie. Sie besagen, daß alle Stellen und alle Richtungen des Raumes, alle Zeitpunkte einander gleichwertig sind. Raum und Zeit an sich können nicht Ursache einer Erscheinung sein.

Jede Erscheinung läßt sich nur relativ zu einem bestimmt gewählten Koordinatensystem im Raume und einer bestimmt gewählten Zeitskala angeben. Nach den genannten Prinzipien sind aber in einem Augenblick alle durch Verschiebungen und Drehungen auseinander hervorgehenden räumlichen Koordinatensysteme, alle durch den Nullpunkt verschiedenen Zeitskalen physikalisch äquivalent. Das Prinzip der Homogenität der Gesetze besagt, daß die Beziehungen zwischen allen physikalischen Begriffen von der Wahl der Grundeinheiten unabhängig sein müssen; das gilt vornehmlich auch von den Einheiten des Raumes und der Zeit. Es gibt also eine unendliche Zahl äquivalenter Bezugsysteme. Hierher gehört endlich das Prinzip der Kontinuität; alle Naturvorgänge werden als stetig abhängig von den unabhängigen Größen, den Raumabmessungen und der Zeit, vorausgesetzt. Es gibt keine „Leere" im Raume, kein „zeitloses" Geschehen. Diesem Prinzip scheint die Atomistik in gewissem Sinne zu widersprechen; doch kann es auch hier aufrecht erhalten werden, indem man die Atome selber als endliche Gebilde mit stetigen Uebergängen ansieht. Treten sonst in der Physik Unstetigkeiten auf, so gelten sie nur als mathematische Fiktionen, die zur Vereinfachung an Stelle stetiger, sehr rascher Uebergänge gesetzt werden. Ja, man geht sogar im allgemeinen weiter, indem man die physikalischen Funktionen nicht nur stetig, sondern auch beliebig differenzierbar (vgl. den Artikel „Infinitesimalrechnung") oder mit noch schärferen Einschränkungen (Analytizität) voraussetzt.

3. Prinzipien des reinen Denkens. Die Betrachtung einzelner Tatsachen ist noch keine Wissenschaft. Der erste Schritt dazu besteht in der Zusammenfassung von Einzelerscheinungen zu einer Klasse. Das Prinzip der Klassifikation eröffnet erst die Bahn für das kausale Denken. Denn nicht für einzelne Vorgänge, nur für Klassen von Erscheinungen hat die Frage nach ihrer Abhängigkeit überhaupt einen Sinn. Das allgemeine Kausalitätsprinzip findet speziell in der Physik seinen Ausdruck in der Forderung, die eine Klasse von Erscheinungen bewirkenden Kräfte und ihre Abhängigkeit von anderen Erscheinungen, den Ursachen, aufzufinden. Da aber schließlich alle Erscheinungen auf eine einzelne Einfluß haben können, muß aus der Mannigfaltigkeit das „Wesentliche" ausgesondert werden. Auf diesem „Prinzip der Zerlegung" beruht die Bestimmung einer einzelnen „Kraft". Die Kraft ist das Charakteristikum einer Klasse von Erscheinungen, z. B. gehören alle Fall- und Wurfbewegungen zu der durch die Schwerkraft charakterisierten Klasse, die Planetenbewegungen zu der Klasse der Gravitation. Umgekehrt erfordert die Vorstellung der vereinigten Wirksamkeit mehrerer Kräfte ein Prinzip der Zusammensetzung. In der klassischen Mechanik wird dieses als Satz vom Parallelogramm

Digitized by Google

der Kräfte formuliert; stellt man die Kräfte nach Richtung und Größe durch Pfeile (Vektoren) dar, so sind zwei Kräfte einer dritten äquivalent, die nach Richtung und Größe durch die Diagonale des von den beiden ersten Kräften bestimmten Parallelogramms gegeben ist. In der Relativitätstheorie (vgl. I, 8) wird dieser Satz modifiziert. Die beiden letzten Prinzipien werden durch das Prinzip von der Gleichwertigkeit der Ursachen ergänzt. Es gibt keine Reihenfolge der Ursachen; würde man eine solche annehmen, so hieße das, auf naturwissenschaftliche Erklärung überhaupt verzichten und das Uebernatürliche einführen. Als letzten Punkt dieser (naturgemäß etwas willkürlichen) Aufzählung führen wir das Prinzip von der Universalität der Gesetze an, das ja eigentlich in der Homogenität von Raum und Zeit enthalten ist. Neuerdings spricht man oft von universellen Konstanten, das sind Zahlen, die von der speziellen Beschaffenheit der Materie unabhängig sind (z. B. die Lichtgeschwindigkeit, die spezifische Elektronenladung) und so ein Symbol für ein universelles Gesetz darstellen.

4. Praktische Prinzipien. Als Mach die rein empirische Naturauffassung neu belebte, glaubte er mit zwei praktischen Prinzipien auskommen zu können, der Einfachheit und der Oekonomie. Das Ziel aller Wissenschaft soll sein, die Erfahrungen durch zusammenfassende Beschreibungen so zu ersetzen, daß sie durch den geringsten Aufwand von Gedankenarbeit übersehen werden können. Dieses soll durch Aufsuchen der Elemente geschehen, die den einzelnen Erfahrungen zugrunde liegen. Es ist klar, daß hierbei wiederum alle die oben (unter 2, 3) aufgezählten Prinzipien des Denkens zur Anwendung kommen. Durch Machs „praktische" Prinzipien werden also jene „theoretischen" nicht überflüssig gemacht, sondern nur ergänzt. Ein praktisches Prinzip ist auch das der Analogie, das durch Uebertragung bekannter Gedankenreihen auf neue Erscheinungen heuristisch und pädagogisch von ungeheurem Werte ist, aber in dem System der theoretischen Wissenschaft keinen Platz beanspruchen kann.

5. Allgemeine Erhaltungsprinzipien. Von den Kantschen Kategorien ist besonders noch eine zum physikalischen Prinzip geworden, die der Substanz. Das wesentlichste Attribut dieser, die Unzerstörbarkeit, kommt vor allem der Materie selbst zu; dabei galt als Maß derselben von jeher die träge Masse, definiert durch die Newtonschen Bewegungsgesetze (vgl. II, 2). Daß jedem Teil der Materie eine konstante Masse zugeschrieben wird, wird auch in den neuen Modifikationen der Dynamik (vgl. Relativitätsprinzip I, 8) aufrecht erhalten, obwohl man dort von (mit der Geschwindigkeit) veränderlichen Massen zu sprechen pflegt; hier ist nur die Bezeichnungsweise geändert, die für die Materie charakteristische konstante Größe heißt „Ruhmasse", unter „Masse" versteht man einen in den abgeänderten Bewegungsgesetzen auftretenden veränderlichen Ausdruck. Dieses Prinzip der Substanz zu umgehen (wie versucht worden ist), scheint unmöglich zu sein. Vielmehr hat es die Kraft, sich bei den verschiedensten Begriffen geltend zu machen: zweifellos besteht das Bestreben, fundamentale physikalische Größen, die sich als zahlenmäßig konstant erweisen, als „Substanzen" aufzufassen, die nie ihr Wesen, nur ihre Form ändern. Das wichtigste Beispiel ist die Energie; erhebt doch die Energetik, die (von Ostwald besonders extrem vertretene) Lehre von der Substanzialität der Energie, den Anspruch, eine ganz neue, fundamentale Weltanschauung darzustellen. Tatsächlich ist das Energieprinzip allein völlig ungenügend zur Darstellung eines umfassenderen Teils der physikalischen Gesetze und muß durch andere Prinzipien (z. B. das der Relativität, vgl. I, 8) ergänzt werden. Von abstrakten mechanischen Grössen werden außer der Energie zuweilen auch der Gesamtimpuls und das Gesamtimpulsmoment, die ebenso wie die Energie bei abgeschlossenen Systemen konstant sind, substanziell aufgefaßt.

Der Energiebegriff spielt besonders in der mechanischen Wärmelehre eine große Rolle. Die Wärme selbst läßt sich nicht, wie die alte Physik wollte, als Substanz auffassen, wohl aber die Summe von Arbeit und Wärme, die Energie. Nach den neuen Anschauungen des Relativitätsprinzips erscheinen übrigens Masse und Energie als wesentlich identisch; danach handelte es sich also nur um eine Substanz.

Außerhalb der Mechanik galten Elektrizität und Magnetismus von je als Fluida; ihre Unzerstörbarkeit rechtfertigt diese Substanzierung. Heute hat eigentlich nur die Elektrizität durch Einführung atomistischer Elemente, der Elektronen, den substanziellen Charakter bewahrt; ein magnetisches Elementarquantum (Magneton) ist noch nicht zweifellos nachgewiesen.

Kritisch ist zu diesem Prinzip zu sagen, daß zwar die substanzielle Auffassung der genannten Größen für die Anschauung sehr bequem, aber nicht immer notwendig, manchmal sogar schwierig ist. Letzteres gilt z. B. von der Auffassung der kinetischen Energie als Substanz. Die Bedeutung des Energieprinzips liegt weniger in der oft etwas gekünstelten Substanzierung der Ener-

Digitized by Google

giekonstanten, als vielmehr in der Forderung, daß eine Funktion der Zustandsgrößen, die Energiefunktion, existiert, die bei einem abgeschlossenen System konstant ist und aus der die Gesetzmäßigkeiten des Systems sich auf Grund der später zu besprechenden Minimalprinzipe ableiten lassen.

6. Der Kraftbegriff und das physikalische Gesetz. Fern- und Nahwirkung. Aktio und Reaktio. Die Gesetzmäßigkeiten der Physik treten in mannigfacher mathematischer Form auf. Da ein Gesetz nicht nur eine Erscheinung, sondern eine Klasse (vgl. I, 3) von solchen umfassen soll, die Klasse aber durch die wirkenden Kräfte charakterisiert ist, so stellt sich das Gesetz als eine Gleichung zwischen den Kräften dar. Dabei sind im wesentlichen zwei große Typen zu unterscheiden. Aus der Astronomie ist das Prinzip der Fernwirkung hervorgegangen, nach dem die Kräfte durch den leeren Raum hindurch wirksam sein sollen. Gemäß dieser Vorstellung erscheinen die Kräfte als Summen über die im Raume verteilten wirkenden Körper, d. h. als Integrale, die Gesetze also als Integralgleichungen. Schon Newton hat die Schwierigkeit dieser Anschauungen betont und eine Nahwirkungstheorie für die Gravitation gefordert. Nach dem Prinzip der Nahwirkung rühren die an einer Stelle wirksamen Kräfte nur von der infinitesimalen Nachbarschaft der Stelle her; eine Wirkung in die Ferne ohne Anteil des Zwischenmediums ist ausgeschlossen. Hier sind die Kräfte differenzieller Natur, die Gesetze werden daher Differentialgleichungen. Diese Vorstellung hat sich besonders durch die Arbeiten Faradays und Maxwells in der Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus durchgesetzt. Mathematisch sind oft beide Vorstellungsarten völlig äquivalent. In jedem Falle erfüllen die Kräfte der klassischen Mechanik das Prinzip von Aktio und Reaktio, d. h. wirkt ein Körper auf einen anderen mit einer Kraft, so wirkt dieser auf den ersten mit einer gleich großen, entgegengesetzt gerichteten Kraft zurück. In der durch das Relativitätsprinzip (vgl. I, 8) modifizierten Mechanik hat auch dieser Satz seine allgemeine Gültigkeit verloren.

7. Teleologische Prinzipien. Das Bestreben, in der Natur, Zwecke zu erkennen, hat schon früh dazu geführt, den Gesetzen diese Form zu geben: irgendein Ausdruck, eine Größe, wird „möglichst groß“, oder „möglichst klein“. Oft ist es tatsächlich angängig, ein solches Minimal- oder Maximalprinzip aufzustellen, das den Bewegungsgesetzen völlig äquivalent ist, und oft ist es auch bequemer als andere Formen des Gesetzes (vgl. II, 2, 3, 4). Doch sind die teleologischen Gesichtspunkte im eigentlichen Sinne, etwa die Vorstellung, daß die Natur mit möglichst geringen Mitteln einen möglichst großen Effekt zu erreichen suche, ganz unhaltbar; denn jene viel gebrauchten Extremalprinzipe (Prinzip der kleinsten Wirkung usw.) sind meist bloß formal, d. h. der wirkliche Vorgang unterscheidet sich im allgemeinen von allen möglichen gar nicht durch ein wirkliches Minimum, sondern es sind nur irgendwelche notwendige Bedingungen des Minimums erfüllt. Gleichwohl war dieser Gesichtspunkt historisch von größter Wichtigkeit, und auch heute sind die Minimalprinzipe die kürzeste Darstellung der Naturgesetze (vgl. II, 2, 3, 4). Teleologische Gedanken wie das Entwickelungsprinzip, das in den beschreibenden Naturwissenschaften eine so große Rolle spielt, haben in der Physik niemals Geltung gewonnen. Es sei denn, daß man den Entropiesatz (vgl. II, 3) in seiner allgemeinsten, unbeweisbaren Fassung hierher rechnet, wonach das ganze Universum dem „Wärmetode“ zustreben soll. Ein so allgemeiner Satz kann nicht mehr als physikalisch gelten. In seiner Anwendung auf spezielle endliche Systeme aber ist der Entropiesatz ein physikalisches Gesetz wie jedes andere, das in gewöhnlicher Weise durch Induktion aus Erfahrung gewonnen oder auf andere zulässige Hypothesen (kinetische Gastheorie) zurückgeführt werden kann.

8. Das Relativitätsprinzip. Die Prinzipe der Homogenität und Isotropie (vgl. I, 2) führen darauf, gewisse Bezugsysteme (vgl. I, 2) als äquivalent zu erklären. Einen ähnlichen, aber viel tiefer gehenden Sinn hat das Relativitätsprinzip. Mit diesem hat es folgende Bewandtnis. Die Naturgesetze beziehen sich auf ein bestimmtes Bezugsystem von Raum und Zeit, das durch sie selbst definiert wird. Ein gültiges Bezugsystem ist nicht a priori gegeben, sondern nur dadurch, daß in ihm die angenommenen Gesetze statt haben. Empirisch kann ein solches System nur durch systematische Verbesserung der Beobachtungen approximiert werden. So galt ein auf der Erde festes System für die Mechanik lange Zeit für gültig, mußte aber bei feineren Beobachtungen (Foucaults Pendelversuch) durch ein besseres, das sogenannte „astronomische System“, ersetzt werden. Das Relativitätsprinzip behauptet nun, daß alle zu einem gültigen Bezugsystem gleichförmig und geradlinig bewegten Systeme ebenfalls gültig sind. Es ist das eine Aussage, nicht über Raum und Zeit getrennt, sondern über ihre Kombination, deren Element das „Ereignis“ ist und die man nach Minkowski „Welt“ nennt. Dieses Prinzip besitzt zwar eine gewisse Evidenz, die aber nicht stark genug ist, als daß es in jeder Epoche der Wissen-

Digitized by Google

schaft Geltung gehabt hätte. Den Völkern des klassischen Altertums war es nicht geläufig. Mit der Aufstellung der Galilei-Newtonschen Mechanik mußte es von selbst zur Herrschaft gelangen, da es eine Folge der Newtonschen Bewegungsgesetze ist. Dabei ist das Zeitmaß in allen gültigen Systemen identisch. Besonderes Interesse wandte sich dem Prinzip wieder beim Ausbau der Optik und der Elektrodynamik zu. Die Hertzsche elektromagnetische Theorie bewegter Körper übernahm einfach das Relativitätsprinzip in der Form der klassischen Mechanik. Widersprüche der Hertzschen Gesetze gegen gewisse Experimente zwangen zum Aufgeben dieser Theorie. Es folgte eine Zeit, wo man auf das Prinzip überhaupt verzichtete. H. A. Lorentz führte alle elektromagnetischen Erscheinungen auf seine „Elektronengesetze" zurück, die sich auf den Aether, d. h. den mit gewissen physikalischen Eigenschaften ausgestatteten, absolut ruhenden Raum beziehen. Die Rückkehr zu einem Relativitätsprinzip wurde weniger durch Gründe a priori, als durch die experimentelle Tatsache hervorgerufen, daß die Beobachtungen die nach Lorentz' Theorie zu erwartenden Beeinflussungen der elektromagnetischen Erscheinungen auf der Erde durch deren Bewegung relativ zum ruhenden Aether nicht feststellen konnten (Michelsons Versuch; vgl. den Artikel „Lichtfortpflanzung in bewegten Medien"). Während sich alle Versuche zur Abänderung der Lorentzschen Elektronengesetze unter Beibehaltung des absolut ruhenden Aethers als höchst unbefriedigend, fast als undurchführbar erwiesen, konnte Einstein zeigen, daß die ursprünglichen Lorentzschen Gesetze selbst eine unendliche Zahl gültiger Bezugsysteme zulassen, die sich gleichförmig zueinander bewegen, sofern man nur eine bisher stillschweigend über das Zeitmaß gemachte Voraussetzung fallen läßt. Bisher nämlich sah man die Zeit als absolut, für alle gültigen Bezugsysteme identisch an. Diese Annahme muß aufgegeben werden, jedes gültige Bezugsystem hat eine eigene Zeit; in der Tat scheint zugunsten der Voraussetzung eines absoluten Zeitmaßes weder eine Evidenz a priori zu sprechen (denn die Zeit als „Anschauungsform" muß ja von der Zeit als meßbare Größe, als physikalische Urvariable, wohl unterschieden werden), noch kann man sie auf irgendein Gedankenexperiment stützen. Denn da zu jeder Zeitvergleichung an verschiedenen Orten ein Signal irgendwelcher Art nötig ist, so verliert, wenn dieses selbst eine endliche Geschwindigkeit hat, der Begriff der absoluten Gleichzeitigkeit seinen Sinn; das schnellste vorhandene Signal, das Licht, erlaubt dann, gewissermaßen die praktisch beste Gleichzeitigkeit zu definieren. Die neue Theorie, die wieder weit über das durch die Erfahrung gegebene hinausgeht, erhebt dies zum Prinzip: sie postuliert, daß die Lichtgeschwindigkeit die höchste Signalgeschwindigkeit ist, definiert daraus einen exakten Zeitbegriff und zeigt auf Grund dieses die Gültigkeit des Relativitätsprinzips für die Elektronengesetze. In jedem gültigen Bezugsystem besitzen Raum und Zeit übrigens wieder die Eigenschaften der Homogenität und Isotropie (über die mathematische Form des Prinzips vgl. den Artikel „Lichtfortpflanzung in bewegten Medien".) Es ist nun gelungen, zu zeigen, daß sowohl die elektromagnetischen als auch die mechanischen Gesetze insgesamt sich dem neuen Relativitätsprinzip anpassen lassen, ohne daß ein Konflikt mit der Erfahrung entsteht. Daraus entspringt die Berechtigung des Prinzips. Die hier skizzierte geschichtliche Entwickelung lehrt, daß seine Gültigkeit zum wenigsten ebensosehr von dem Stande der experimentellen Forschung, als von Gründen a priori abhängt. Es steht also gewissermaßen in der Mitte zwischen den Prinzipien a priori und den Prinzipien a posteriori, welchen wir uns jetzt zuwenden.

II. Prinzipien a posteriori.

1. Stoffabgrenzung. Wenn wir gemäß unserer Verabredung unter Prinzipien a posteriori alle jene Sätze und Formelsysteme verstehen, durch welche der gesamte Inhalt eines Zweiges physikalischer Forschung zusammenfassend dargestellt werden kann, so müßten wir denjenigen Teil der theoretischen Physik vollständig wiedergeben, der von der Aufstellung der Grundgleichungen der einzelnen Gebiete handelt. Denn alle diese Grundgesetze sind zwar zu großem Teile aus Erfahrung geschöpft, aber nicht mehr in ihrem vollen Umfange durch Induktion zu gewinnen und würden daher die Bezeichnung „Prinzipien" gleichmäßig verdienen. Tatsächlich ist es üblich, gewisse dieser Sätze herauszuheben und Prinzipien zu nennen: das gründet sich teils auf die historische Entwickelung, teils handelt es sich wirklich um besonders allgemeine und wichtige Gesetze. Wir wollen daher diesem Gebrauche folgen und für die verschiedenen Gebiete der Physik diejenigen Grundsätze aufzählen, die man „Prinzipien" zu nennen pflegt.

2. Mechanik. 2a) Statik. Die klassische Mechanik operiert mit der Vorstellung beweglicher materieller Punkte, die nicht nur Kräften unterworfen sind, sondern auch gezwungen sein können, auf gewissen Linien oder Flächen zu bleiben oder in allgemeinerer Weise verkoppelt sind. Die Kräfte sind gegeben, dagegen sind die durch Koppelungen

Digitized by Google

hervorgerufenen Reaktionen unbekannt. Zur Bestimmung der Gleichgewichtslagen eines solchen Punktsystems ist von Joh. Bernoulli eine Regel aufgestellt worden, die das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten (besser: Verrückungen) heißt. Sind X_i, Y_i, Z_i die Komponenten der Kraft, die auf den Punkt mit den Koordinaten x_i, y_i, z_i wirkt und sind δx_i, δy_i, δz_i die Komponenten einer unendlich kleinen Verrückung, so tritt Gleichgewicht dann und nur dann ein, wenn die Summe der virtuellen Arbeiten

$$\sum_i (X_i \delta x_i + Y_i \delta y_i + Z_i \delta z_i) = 0 \qquad 1)$$

ist für alle virtuellen, d. h. mit den Koppelungen verträglichen Verrückungen; wegen der Kleinheit derselben kann man die Koppelungen in der Form:

$$\sum_i (a_{ik} \delta x_n + b_{ik} \delta y_n + c_{ik} \delta z_n) = 0 \qquad 2)$$

ansetzen. Hieraus ergeben sich soviel Gleichungen, als unbekannte Koordinaten da sind.

Bedeutet z. B. bei der einfachen Rolle x die vertikale Richtung nach unten, X_1 die Last an einem, X_2 die am anderen Seilende, so besteht einerseits zwischen den Verrückungen δx_1, δx_2 der beiden Lasten wegen der Seilverbindung die Beziehung

$$\delta x_1 + \delta x_2 = 0,$$

andererseits gilt nach dem Prinzip

$$X_1 \delta x_1 + X_2 \delta x_2 = 0.$$

Aus beiden Gleichungen folgt durch Elimination von δx_2

$$\delta x_1 (X_1 - X_2) = 0,$$

also wegen der Willkürlichkeit von δx_1: $X_1 = X_2$; die beiden Lasten müssen im Gleichgewichtsfalle gleich sein.

Für dieses Prinzip sind außerordentlich viele „Beweise" gegeben worden (die berühmtesten von Lagrange), d. h. Zurückführungen auf einfachere Axiome. Doch beruht die Ueberzeugung von seiner unbeschränkten Gültigkeit wohl mehr teils auf der Uebereinstimmung mit der Erfahrung in ungezählten Fällen, teils auf energetischen Betrachtungen, die darauf herauslaufen, daß bei verschwindender virtueller Arbeit aus der Ruhe keine kinetische Energie, also keine Bewegung entstehen kann. Eine Verallgemeinerung des Prinzips auf „einseitige" Bedingungen, wo in (1) statt des Gleichheitszeichens das Zeichen $<$ tritt, führt den Namen Fouriers.

Lagranges Multiplikatorenmethode liefert die Gleichgewichtsbedingungen aus (1) und (2) in der Form

$$X_i = \sum_k \lambda_k a_{ik}, \ldots \qquad 3)$$

wobei die rechten Seiten die aus den Koppelungen entstehenden Reaktionen bedeuten.

So hat man z. B. bei der Rolle

$$X_1 = \lambda, \quad X_2 = \lambda,$$

d. h. das Seil reagiert an beiden Enden mit gleichen Kräften.

Auch die statische Reibung läßt sich unter das Prinzip subsummieren.

Wesentlich ist die Verallgemeinerung des Prinzips auf die Mechanik der Kontinua; hier sind die Volumkräfte X, Y, Z und die Verrückungen δx, δy, δz als stetige Funktionen der Koordinaten x, y, z anzusehen. Neben diese Volumkräfte aber treten Flächenkräfte oder Spannungen: seien X_x, Y_x, Z_x die Komponenten der Flächenkraft, die auf ein Flächenelement senkrecht zur x-Achse wirkt. Dann lautet das Prinzip so:

$$\iiint \Big\{ (X\delta x + Y\delta y + Z\delta z) + X_x \frac{\partial \delta x}{\partial x} + Y_x \frac{\partial \delta y}{\partial x} + Z_x \frac{\partial \delta z}{\partial x} + X_y \frac{\partial \delta x}{\partial y} + \ldots \Big\} dv = 0, \qquad 4)$$

wo das Integral über das Volumen des Körpers zu erstrecken ist. Koppelungen werden hier im allgemeinen keine Rolle spielen. Dagegen pflegt man gewisse unstetige Verrückungen zuzulassen, nämlich solche, bei denen ein Teil des Körpers starr verrückt wird, während der Rest in Ruhe bleibt; daraus folgen dann die Symmetriebedingungen der Spannungskomponenten: $X_y = Y_x$, $X_z = Z_x$, $Y_z = Z_y$. Die Gleichgewichtsbedingungen aber lauten:

$$\left. \begin{array}{l} X = \dfrac{\partial X_x}{\partial x} + \dfrac{\partial X_y}{\partial y} + \dfrac{\partial X_z}{\partial z} \\ - \; - \; - \; - \; - \; - \end{array} \right\} \qquad 5)$$

Das ist das allgemeine Schema für alle statischen Probleme der Mechanik der Kontinua.

2b) Dynamik. Aus dem statischen Grundprinzip entsteht das dynamische durch Hinzufügung der Trägheitskräfte. Wir bezeichnen Differentiation nach der Zeit (vgl. den Artikel „Infinitesimalrechnung") durch Punkte über den Buchstaben: ist z. B. x eine veränderliche Länge, so ist $\dot{x}$ die Geschwindigkeit, $\ddot{x}$ die Beschleunigung ihres Endpunktes. Sind $\ddot{x}_i$, $\ddot{y}_i$, $\ddot{z}_i$ die Beschleunigungskomponenten, m_i die Masse eines Punktes, so treten als Wirkung der Trägheit zu den übrigen Kräften die folgenden:

$$-m_i\ddot{x}_i, \quad -m_i\ddot{y}_i, \quad -m_i\ddot{z}_i.$$

Dann erhält man das d'Alembertsche Prinzip für ein Punktsystem in der Form:

Digitized by Google

$$\sum_i [(X_i - m_i \ddot{x}_i)\delta x_i + (Y_i - m_i \ddot{y}_i)\delta y_i + (Z_i - m_i \ddot{z}_i)\delta z_i] = 0; \qquad 6)$$

es ist ebenso aufzufassen, wie das Prinzip der virtuellen Verrückungen.

Das Prinzip enthält, wenn keine Koppelungen da sind, die ersten beiden „leges motus" von Newton. Sind aber Koppelungen vorhanden, erhält man die Bewegungsgleichungen erster Art von Lagrange:

$$m_i \ddot{x}_i = X_i + \sum_k \lambda_k a_{ik}, \ldots \qquad 7)$$

wo die λ_k die Koppelungsreaktionen sind.

Bei der Rolle erhält man z. B.

$$m_1 \ddot{x}_1 = X_1 + \lambda, \quad m_2 \ddot{x}_2 = X_2 + \lambda;$$

da aber immer $x_1 + x_2 =$ konst., also $\ddot{x}_1 = -\ddot{x}_2$ sein muß, so folgt durch Elimination von x_2:

$$(m_1 + m_2)\ddot{x}_1 = X_1 - X_2,$$

d. h. die Lasten bewegen sich so wie ein freier Körper, dessen Masse gleich der Summe der Massen ist und auf den als Kraft die Differenz der beiden Lasten wirkt.

Ganz entsprechendes gilt für die Mechanik der Kontinua; man hat nur in (4) und (5) $X_1 \ldots$ durch $X - m\ddot{x}_1 \ldots$ zu ersetzen.

Während diese Prinzipien Variationen ganz formaler Art erfordern, hat Gauß ein äußerlich ganz ähnliches wirkliches Minimalprinzip ersonnen, das Prinzip des kleinsten Zwanges. Dieses besagt: Ein Punktsystem bewegt sich so, daß der Zwang

$$\sum_i \frac{1}{m_i} [(X_i - m_i \ddot{x}_i)^2 + (Y_i - m_i \ddot{y}_i)^2 + (Z_i - m_i \ddot{z}_i)^2] \qquad 8)$$

für die wirkliche Bewegung in einem beliebigen Moment t kleiner ist als für alle anderen virtuellen Bewegungen, die im Moment t dieselben Koordinaten und Geschwindigkeiten haben. Man sieht leicht, daß diese Forderung mit dem d'Alembertschen Prinzipe äquivalent ist.

H. Hertz hat seinem Versuche, eine Mechanik ohne den Kraftbegriff aufzubauen, ein ganz ähnliches Prinzip, das Prinzip der geradesten Bahn, zugrunde gelegt.

Eigentliche Variationsprinzipe nennt man solche, bei denen die Bewegung durch das Verschwinden der Variation eines bestimmten Integrals charakterisiert ist. Das wichtigste ist das Hamiltonsche Prinzip; dieses lautet so:

Sei T die kinetische, U die potentielle Energie eines mechanischen Systems irgendwelcher Art. Dann findet die Bewegung so statt, daß die Variation des zwischen zwei gegebenen Zeitpunkten t_1, t_2 erstreckten Integrals

$$\int_{t_1}^{t_2} (T - U)dt \qquad 9)$$

verschwindet für alle Nachbarbewegungen, die für t_1, t_2 gegebene Lagen haben. Das Integral hat ein wirkliches Minimum, wenn t_1, t_2 sehr benachbart sind, sonst nicht (vgl. I, 7).

Im Falle der Punktmechanik ist T eine quadratische Form (d. h. eine Summe von Quadraten der $\dot{x}_i$ oder von Produkten je zweier der $\dot{x}_i$, jedes solche Glied mit einem Koeffizienten versehen), deren Koeffizienten von den Koordinaten x_i abhängen; U ist irgendeine Funktion der letzteren. Die Bedeutung dieses Prinzips liegt darin, daß es für jede Wahl von Koordinaten x_i gilt, mögen diese unabhängig oder abhängig sein; im letzteren Falle müssen die Koppelungen gehörig berücksichtigt werden. Man erhält dann die Lagrangeschen Bewegungsgleichungen zweiter Art:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i}\right) = \frac{\partial (T - U)}{\partial x_i} + \sum_i \lambda_i a_{ik}, \qquad 10)$$

die man auch direkt aus denen erster Art ableiten kann.

In der Mechanik der Kontinua sind T und U räumliche Integrale, deren Integranden von den räumlichen und zeitlichen Differentialquotienten der Verschiebungen abhängen. Die Gültigkeit des Prinzips folgt daraus, daß es in den direkter Betrachtung zugänglichen Fällen die richtigen Bewegungsgleichungen liefert. Das Prinzip hat aber eine weit über die reine Mechanik hinausgehende Bedeutung. In fast allen Gebieten der Physik lassen sich die Grundgesetze durch Minimalprinzipien dieser Form darstellen. In der Mechanik selbst hat das Prinzip mannigfache Umgestaltungen erfahren. Eine solche ist das Prinzip der kleinsten Wirkung (ein Name, der oft auch für das Hamiltonsche Prinzip gebraucht wird): es lautet: Die Variation des Integrals

$$\int_{t_1}^{t_2} T dt$$

verschwindet für alle (wie oben definierten) zulässigen Variationen, welche die Totalenergie

$$\int_{t_1}^{t_2} (T + U)dt$$

konstant lassen.

Jakobi hat ein Prinzip aufgestellt, welches nicht die Zeit, sondern nur geometrische Größen enthält. Andere Formen des Prinzips beruhen auf der Hinzufügung verschiedener Nebenbedingungen.

Auch die Gesetze der neuen Mechanik, die dem Einsteinschen Relativitätsprinzip

Digitized by Google

genügt, sind von Planck und Herglotz mit Hilfe des Hamiltonschen Prinzips formuliert worden.

Das Energieprinzip ist in der Mechanik eine Folge des Hamiltonschen Prinzips, sobald die Größe T—U nicht von der Zeit explizite abhängt. Dann ist für ein abgeschlossenes System

$$U + T = \text{konst.}$$

Erwähnt sei das Prinzip von Cavalieri, das in der Mechanik der Kontinua eine Rolle spielt; bei diesem werden nicht die Koordinaten, sondern die Spannungen variiert.

3. Thermodynamik. Die beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie verdienen die Bezeichnung „Prinzipien". Der erste Hauptsatz ist die Formulierung des Energieprinzips; er fordert die Existenz einer nur vom Zustande abhängigen Funktion, der Energie, deren Aenderung bei Prozessen ohne Arbeitsleistung gleich der Wärmezufuhr, bei adiabatischen Prozessen gleich der Arbeit ist. Er enthält die Erkenntnis der Aequivalenz von Wärme und Arbeit und ist der Ausdruck der Unmöglichkeit, ein Perpetuum mobile mit Wärmemaschinen zu konstruieren (Robert Mayer, Joule, Helmholtz).

Der zweite Hauptsatz fordert ebenfalls die Existenz einer gewissen Funktion des Zustandes, der Entropie, die bei allen in der Natur vorkommenden Prozessen wächst und nur im Idealfall der umkehrbaren Prozesse konstant bleibt. Das Entropieprinzip wird gewöhnlich auf zwei einfachere Axiome zurückgeführt, entweder auf das Claususische oder auf das Thomsonsche Prinzip. Ersteres behauptet die Unmöglichkeit von Prozessen, deren Endresultat wäre, daß Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergegangen, sonst aber nichts verändert ist; das zweite behauptet die Unmöglichkeit des „Perpetuum mobile zweiter Art", d. h. einer Maschine, die durch Entnahme von Wärme aus einem Reservoir unbeschränkt Arbeit leisten kann. Beide Prinzipien sind nichts als Formulierungen einer gewaltigen Erfahrungskette des Menschengeschlechts. Zur Begründung der Thermodynamik reicht aber nach Carathéodory ein einfacheres Prinzip aus, das nur verlangt, daß in der Nähe jedes Zustandes gewisse Nachbarzustände durch adiabatische Prozesse nicht angenähert werden können, ohne daß diese unmöglichen Prozesse, wie bei Thomson und Clausius, speziell angegeben werden müssen.

Helmholtz hat gelehrt, den gesamten Inhalt der Thermodynamik umkehrbarer Prozesse mit der Mechanik im Hamiltonschen Prinzipe zusammenzufassen. Dabei tritt die Entropie als Analogon zu einer Koordinate, die Temperatur als Analogon zu einer Kraft auf.

4. Physik des Aethers. Nach der heutigen Auffassung sind die optischen, elektrischen und magnetischen Vorgänge wesensgleich und genügen denselben Grundgesetzen. Diese lassen sich wiederum auf mannigfache Weise in die Form des Hamiltonschen Prinzips gießen. Dabei wird gewöhnlich die magnetische Energie als kinetische, die elektrische Energie als potentielle gedeutet. Diese Darstellungen der allgemeinen Grundgesetze gehen auf Maxwell zurück; vorher hatte F. Neumann die Induktionsvorgänge auf ein ähnliches Prinzip zurückgeführt. Es würde zu weit führen, die verschiedenen Formen des Prinzips in allen möglichen Teilen dieses ungeheuren Gebietes der Physik hier aufzuführen.

Die Prinzipien von der Erhaltung der Elektrizität, des Magnetismus, der elektromagnetischen Energie haben wir schon vorher besprochen. Sie erscheinen speziell auch als Folgerungen aus den im Hamiltonschen Prinzipe zusammengefaßten Grundgesetzen.

In der Elektronentheorie kommt zu dem allgemeinen Erhaltungsgesetz der Elektrizität noch die Hypothese hinzu, daß sie auf Korpuskeln unveränderlich gebunden ist; diese folgt natürlich nicht aus dem Hamiltonschen Prinzip, sondern ist ein neues Prinzip.

Aus den elektromagnetischen Grundgesetzen ist das neue Relativitätsprinzip hervorgegangen, und dieses beherrscht heute sowohl die Vorstellungen als auch die mathematischen Methoden in diesem Gebiete der Physik (vgl. I, 8).

5. Spezielle Prinzipe. Eine Reihe von mehr oder weniger speziellen Sätzen der Physik werden mit der Bezeichnung „Prinzipe" versehen. Den allgemeinsten Charakter unter diesen hat noch das Superpositionsprinzip; dieses ist nichts anderes als die Feststellung, daß die Gesetze der Physik entweder linear sind (d. h. die veränderlichen Größen in keiner höheren Potenz als der ersten enthalten) oder wenigstens in erster Annäherung stets als linear angesehen werden können, so daß aus zwei Lösungen durch Addition eine dritte entsteht. Hiervon macht man besonders in der Lehre von den Schwingungen, also in Akustik und Optik, ausgiebig Gebrauch. In die Schwingungslehre gehört auch das Resonanzprinzip, welches besagt, daß ein schwingungsfähiges Gebilde gerade auf solche erregende Schwingungen anspricht, deren

Digitized by Google

Frequenz mit der Eigenfrequenz des Gebildes nahe übereinstimmt. Mathematisch ist das eine direkte Folge aus den Schwingungsgleichungen; es handelt sich also um kein eigentlich neues Prinzip. Gleichwohl spielt es in der anschaulichen Erfassung vieler elastischer, akustischer und optischer Erscheinungen (in der Optik besonders für die Theorie der selektiven Absorption) eine große Rolle.

In ähnlicher Weise ist das Huygenssche Prinzip der Wellenlehre heute als ein Näherungsverfahren zur Lösung der Wellengleichung aufzufassen. Das Dopplersche Prinzip lehrt die scheinbare Frequenzänderung bestimmen, die ein relativ zum Ausgangspunkt eines Wellenzuges bewegter Beobachter wahrnimmt; es ist ein Satz, der aus den Relativitätseigenschaften der Wellengesetze abgeleitet werden kann. Manche andere Prinzipien dieser speziellen Art werden gelegentlich verwendet; dabei ist die Absicht, zur Erklärung einer speziellen Gruppe von Erscheinungen nicht die vollständige Theorie heranzuziehen, sondern sie aus einem speziellen, axiomartig hingestellten Satze abzuleiten.

Literatur. *Die unübersehbare Menge der Schriften über die Prinzipien der Physik, die in Form von Spezialarbeiten, Büchern, Monographien, einleitenden Abschnitten zu Lehrbüchern u. dgl. verbreitet sind, kann hier nicht zusammengestellt werden. Zur Orientierung dient der Artikel der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. 4, Art. 1,* **A. Voss,** *Die Prinzipien der rationellen Mechanik.*

M. Born.

Probierstein

auch Lydischer Stein oder Lydit genannt, ist ein durch kohlige Bestandteile schwarz gefärbter, sehr feinkörniger Kieselschiefer, dessen sich früher die Goldschmiede bedienten, um darauf Striche mit Gold zu machen, die dann zur Auflösung der beigemengten Metalle mit Salpetersäure bestrichen wurden. So konnte der Goldschmied dann den Gehalt an reinem Gold feststellen.

Proust
Josèphe Louis.

Geboren 1755 zu Angers, war er in Madrid von 1791 bis 1808 als Professor tätig und führte in dieser Zeit seine wichtigsten Experimentaluntersuchungen über die Zusammensetzung von Salzen, Oxyden und Sulfiden aus. Im Gegensatz zu Berthollet bewies er, daß die Mengen der Elemente in solchen Verbindungen bestimmte Zahlenverhältnisse zueinander aufweisen. Durch diese auf Grund exakter Versuche gewonnene Erkenntnis wurde er zum Vorläufer Daltons, durch dessen Atomtheorie eine Erklärung für derartige konstante Verbindungsverhältnisse angebahnt worden ist (s. die Biographie Dalton). Proust ist im Jahre 1808 durch die politischen Verhältnisse Spaniens um seine Stellung gekommen und erst kurz vor seinem Tode im Jahre 1826 aus seiner Notlage durch Anerkennung seiner Verdienste befreit worden. Seine Untersuchungen sind in den Annales de Chimie und dem Journal de Physique veröffentlicht worden.

E. von Meyer.

Prout
William.

Geboren 1786, gestorben 1850 als praktischer Arzt in London, hat, obwohl nicht von Beruf Chemiker, durch zwei in den Jahren 1815 und 1816 in den Annals of philosophy zuerst anonym erschienene Abhandlungen die chemische Welt in starke Erregung versetzt: Er warf, ohne sorgsame Begründung, den Gedanken hin, daß die Atomgewichte der Elemente Vielfache von dem des leichtesten Elementes, Wasserstoff, seien, woraus er folgerte, letzterer sei die Urmaterie, durch deren Verdichtung die übrigen Grundstoffe entstanden seien. Wenn auch diese Hypothese durch gründliche Versuche bald als unhaltbar erwiesen wurde, so hatte sie doch in den Köpfen vieler Platz gefunden. Durch experimentelle chemische Untersuchungen hat sich Prout nicht bekannt gemacht.

E. von Meyer.

Protozoa.

1. Allgemeine Charakteristik und Umgrenzung. 2. Morphologie und Physiologie: a) Plasma: α) Statische Organellen; β) Bewegungsorganellen; γ) Ernährungsorganellen. b) Kern und Kernteilung. 3. Fortpflanzung, Befruchtung und Entwickelung. 4. Systematik.

1. Allgemeine Charakteristik und Umgrenzung. Die Protozoen oder Urtiere sind einzellige Organismen. Wenn auch viele Vertreter derselben eine erstaunlich hohe Differenzierung einzelner Zellelemente zu besonderen physiologischen Leistungen aufweisen und eine oft außerordentlich komplizierte Entwickelung durchlaufen, so besitzen die einzelnen Individuen doch nur den Formwert einer einzigen Zelle. Dadurch sind sie ziemlich scharf abgegrenzt gegenüber den Metazoen oder vielzelligen Tieren, deren Körper stets aus vielen Zellen sich aufbaut

Digitized by Google

und bei denen einzelne Zellen oder ganze Zellgruppen nach dem System der Arbeitsteilung zu besonderen Organen differenziert sind. Wo wir dagegen bei Protozoen für besondere physiologische Leistungen extrem differenzierte Elemente finden, handelt es sich nur um Differenzierungen einer Zelle und man nennt diese Bildungen im Gegensatz zu den Organen Organellen.

Ein morphologischer und physiologischer Vergleich der verschiedenen Formen von Protozoen lehrt nun, daß sie nicht als gleichwertige homologe Gebilde im Sinne der Zellenlehre aufgefaßt werden können. Der Zellbegriff im Sinne eines elementaren Organisationselementes kann nicht auf die Protozoen ausgedehnt werden; denn es gibt Protozoen, die während der Hauptzeit ihres Lebens als eigentlich vegetative Individuen dauernd vielkernig sind und die, wie dann bei ihrer Fortpflanzung sich zeigt, einem Vielfachen eines einkernigen einwertigen Protozoons entsprechen. Es empfiehlt sich im Anschluß an Sachs und Hartmann die vielkernigen und vielwertigen Formen als polyenergide den einkernigen oder monoenergiden gegenüberzustellen. Die einzelnen Kerne können zudem verschiedene physiologische Bedeutungen aufweisen, ja direkt analog den Somazellen von Metazoen zu Organellen umgewandelt sein. Am auffallendsten sind wohl die Verhältnisse bei den Myxosporidien, bei denen innerhalb einer polyenergiden Zelle durch endogene Zellbildung Sporen entstehen, die wie ein vielzelliges Tier aus verschiedenen Zellen aufgebaut sind, indem sich neben den eigentlichen Fortpflanzungszellen noch besondere Schalenzellen, Polkapselzellen usw. finden. Wie hieraus ersichtlich, können gewisse Protozoen mindestens eine so hohe Organisationsstufe erreichen wie die niedrigsten Metazoen. Doch hat diese Art der Differenzierung phylogenetisch nur in eine Sackgasse geführt und wir müssen uns die höheren Tiere wohl nur von kolonialen Verbänden ziemlich einfacher monoenergider Protozoen, speziell Flagellaten entstanden denken. Bei dieser Sachlage verdient der Vorschlag Dobells, die Protozoen nicht als Einzellige, sondern als Nichtzellige den vielzelligen Metazoen gegenüber zu bezeichnen, volle Zustimmung.

Wenn so die Urtiere gegen die vielzelligen Tiere verhältnismäßig leicht sich abgrenzen lassen, so ist dagegen eine scharfe Abgrenzung gegenüber den Pflanzen geradezu unmöglich. Besonders bei den Flagellaten gehen pflanzliche und tierische Charaktere bei einzelnen Gruppen so ineinander über, daß sie der Botaniker ebenso wie der Zoologe für sich in Anspruch nehmen muß, da ihre nächsten Verwandten direkt als einzellige Pflanzen (Algen) gelten, von denen sich in lückenloser Reihe die mehrzelligen Algen und somit auch die höheren Pflanzen ableiten. Dasselbe trifft noch für zwei weitere Gruppen zu, die Myxomyceten und die Phycomyceten, die zu den tierischen Protisten weit nähere Beziehungen aufweisen als zu den übrigen Pilzen.

2. Morphologie und Physiologie. Da der für die Protozoen verfügbare Raum außerordentlich beschränkt ist, so können hier die einzelnen Organellen und deren Funktion nicht genauer morphologisch und physiologisch besprochen werden. Es kann das um so eher geschehen, als die einzelnen Klassen, bei denen diese Verhältnisse eingehender abgehandelt werden, sich in den meisten Punkten sehr verschieden verhalten. Es sollen daher hier vorwiegend nur solche Organisationsverhältnisse behandelt werden, die für allgemeinere Gesichtspunkte von Bedeutung sind. Da die Protozoen ja einzellebende Zellen sind, sind diese Fragen zugleich allgemein zelluläre Fragen, doch soll hier keine Besprechung der Zellenlehre gegeben werden, sondern die allgemeinen zellulären Verhältnisse nur soweit Berücksichtigung finden, als es sich um Besonderheiten der Protozoen handelt.

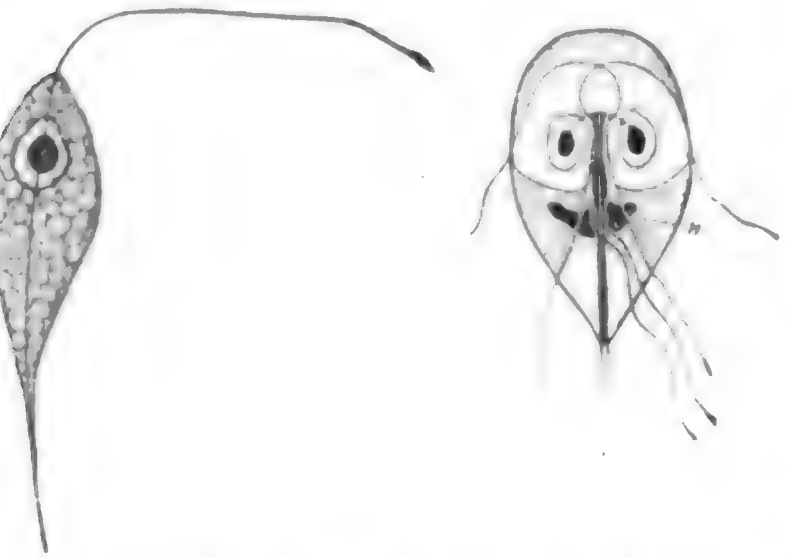
Wie alle Zellen bestehen die Protozoen aus den zwei prinzipiell wichtigen Bestandteilen, dem Protoplasma und dem Kern. Die alte Häckelsche Anschauung vom Vorhandensein kernloser Urtiere, sogenannter Moneren, besteht nicht zurecht. Bei allen neuerdings untersuchten Moneren sind Kerne, meist sogar recht viele, nachgewiesen worden.

2a) Plasma. Das Protoplasma ist ein kompliziertes Gemisch von flüssigen kolloidalen Substanzen, worunter Eiweißgemenge, Proteine, die für die Lebensvorgänge wichtigsten sind. Am Protozoenplasma läßt sich vielfach besonders deutlich eine wabige Struktur erkennen. Dieselbe ist bedingt durch die schaumartige Durchmengung zweier Flüssigkeiten von verschiedener physikalischer Beschaffenheit. Sehr viele Protozoen (Infusorien) zeigen auch einen deutlichen sogenannten Alveolarsaum, das ist eine parallele Lagerung der Waben senkrecht zur Oberfläche, sei dieselbe die Körperoberfläche oder eine innere um eine größere Vakuole, eine Erscheinung, die durch das Gesetz der geringsten Oberfläche bei Flüssigkeiten bedingt ist (s. Fig. 4). Die Protozoen zeigen weiterhin, daß die wabige Struktur nicht eine allgemeine Struktur der lebendigen Substanz sein kann, da vielfach auch homogene Zellen und Zellteile zur Beobachtung kommen. Besonders bei vielen Amöben ist die äußere zähflüssige Plasmaschicht, die gegenüber dem inneren flüssigeren, meist körnchen- und vakuolenreicheren Entoplasma als Ek-

Digitized by Google

toplasma bezeichnet wird, oft vollkommen homogen. Ekto- und Entoplasma sind jedoch keine verschiedenen Substanzen, was daraus erhellt, daß letzteres z. B. bei der Bewegung der Amöben unter dem Einflusse des verdichtenden Außenmediums in ersteres umgewandelt wird und umgekehrt (s. Fig. 3). Bei den Ciliaten ist die Ektoplasmaschicht meist konstanter; sie wird hier als Cortikalplasma bezeichnet (s. Fig. 4).

α) **Statische Organellen.** Der Aggregatzustand der nackten Protozoenzelle ist ein flüssiger, wie gerade die nackten Protozoen (viele Rhizopoden) deutlich zeigen; — im ungereizten Zustand nehmen sie kugelförmige Gestalt an. Wenn ein einzelliges Tier daher eine dauernd von der Kugelform abweichende Gestalt aufweist, so muß dieselbe durch äußere oder innere feste Elemente bedingt sein. Im einfachsten Falle, so bei vielen Flagellaten geschieht dies durch die Erhärtung (Gelatisierung) einer dünneren oder dickeren Oberflächenhaut, die, wie gewisse Versuche es wahrscheinlich machen, auch bei den scheinbar ganz nackten flüssigen Formen als ein mikroskopisch nicht sichtbares, jedoch chemisch-physikalisch differentes Oberflächenhäutchen (**Haptogenmembran**) vorhanden ist. Sie wird als **Pelicula** bezeichnet und für sie gilt das gleiche wie für das Ektoplasma. Es ist ein sogenanntes **euplasmatisches** Organell, das wieder eingeschmolzen werden kann. Bei manchen Flagellaten und Infusorien kann die Pelicula außerordentlich dick und fest sein.



A B

Fig. 1. Intrazelluläre Fibrillen im Körper von Flagellaten. A Axialfibrille (vom Kern ausgehend) bei Cercomonas parva. Nach Hartmann und Chagas. B Kompliziertes Fibrillensystem bei Lamblia intestinalis. Nach Bensen. Aus Doflein.

Außer diesen aus lebendem Protoplasma bestehenden schützenden und formbestimmenden äußeren Differenzierungen gibt es bei fast allen Gruppen der Protozoen aber auch äußere nicht mehr selbst lebende euplasmatische, sondern sogenannte **alloplasmatische** Organellen, die teils nur zu temporärem Schutz dienen, wie Schleimhüllen oder feste Cystenmembranen, teils dauernd in für die einzelnen Arten sehr charakteristischer Form und Zusammensetzung als Gehäuse, Schalen usw. vorkommen, wie sie speziell bei den Rhizopoden weit verbreitet sind und dort eingehend besprochen werden (s. den Artikel „Rhizopoda").

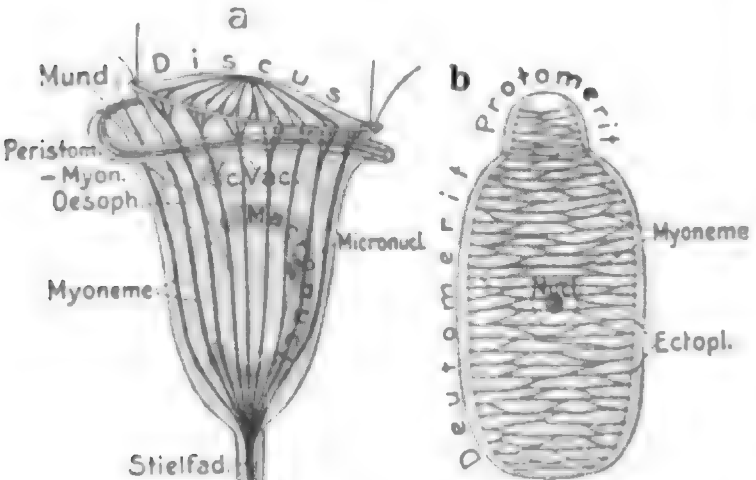


Fig. 2. Myenome von Protozoen. Schematisch. a Vorticella (Infusor). Nach O. Schröder. b Clepsidrina munieri (Gregarine). Nach Aimé Schneider. Aus Bütschli.

Eine zweite Gruppe von statischen, formbedingenden Organellen sind innere Skelette, die dem flüssigen Körper nach Art der Plateauschen Drahtfiguren eine besondere Form aufprägen. Auch hier kann man **euplasmatische** und **alloplasmatische** Skelette unterscheiden. Erstere sind

Digitized by Google

im Gelzustand befindliche, feste elastische Fibrillen aus lebender Substanz, die wie die Pelicula und das Ektoplasma wieder eingeschmolzen, verflüssigt werden können. Hierher gehören speziell die elastischen Fibrillen im Körper verschiedener Flagellaten, die wie bei der betreffenden Gruppe gezeigt werden wird, wahrscheinlich vom Kern gebildet werden (Fig. 1). Derartige Fibrillen können auch in der dann meist noch flüssigen Pelicula als Spiralband eingelagert sein (Beispiel Euglena). Bei vielen Infusorien und Gregarinen finden sich unterhalb der Pelicula im Ektoplasma komplizierte Fibrillensysteme, die als Myoneme bezeichnet werden und denen meist eine kontraktile Funktion zugeschrieben wird (Fig. 2). Wahrscheinlich handelt es sich aber auch nur um feste elastische Elemente (Koltzoffsches Prinzip). Alloplasmatische Skelette und zwar meist aus Kieselsäure bestehend, finden sich besonders bei Heliozoen, Radiolarien und Flagellaten, wo sie näher besprochen sind.

β) Bewegungsorganellen. Wenn wir von den oben erwähnten Myonemen absehen, finden sich Bewegungsorganellen bei Protozoen in zweierlei Form als Pseudopodien und Undulipodien. Die Pseudopodien sind unregelmäßige, nichtdauernde Protoplasmafortsätze, die bald hier, bald da an der Oberfläche hervorfließen und dadurch

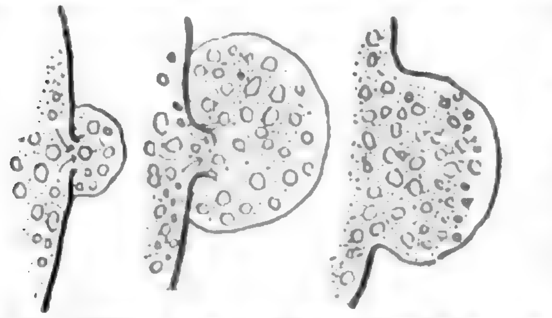


Fig. 3. Bildung eines eruptiven Pseudopodiums von Amoeba blattae. Das Entoplasma strömt durch einen Riß der Haptogenmembran vor und breitet sich über dem früheren Ektoplasma aus, welches allmählich sich in Entoplasma umwandelt. Nach Rhumbler. Aus Gurwitsch.

eine vollständig ungeordnete Bewegung herbeiführen. Ueber die verschiedenen Arten der Pseudopodien s. den Artikel „Rhizopoda"; hier sei nur das Prinzip der Pseudopodienbildung erörtert. Die Fähigkeit, solche zu bilden, kommt jeder nackten Zelle zu und zwar geschieht dies durch lokale Herabsetzung der Oberflächenspannung (durch welche Stoffwechselvorgänge oder sonstige Einwirkungen dieselbe herbeigeführt wird, ist dabei gleichgültig). Es muß rein physikalisch an einer solchen Stelle ein Plasmafortsatz hervorfließen, dessen Größe und Form einerseits von der Spannungsänderung, andererseits von der Beschaffenheit des Protoplasmas sowie der des umgebenden Mediums abhängig ist (Fig. 3).

Die Undulipodien sind dauernde, bei jedem Organismus in bestimmter Zahl und Anordnung vorhandene, sehr dünne, fädige Fortsätze. Man unterscheidet sie als Geißeln oder Flagellen, wenn sie lang und nur in geringer Zahl vorhanden sind (s. Fig. 1), als Cilien oder Wimperhaare, wenn es sich um kürzere, meist in großer Zahl vorhandene Undulipodien handelt (Fig. 4). Die Geißeln

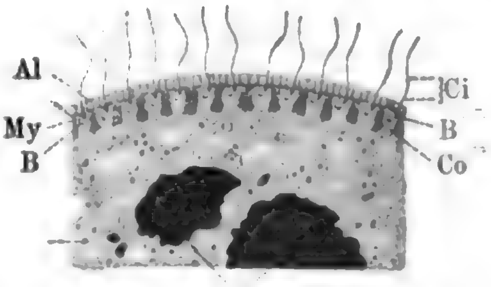


Fig. 4. Teil eines Querschnittes durch Prorodon teres. Al Alveolarsaum, B Basalkörper, Ci Cilien, Co Cortikalplasma, My Querschnitte durch Myoneme. Nach Maier. Aus Gurwitsch.

haben einen runden oder ovalen Querschnitt, manchmal sind sie auch bandförmig. Durch neuere Beobachtungen ist für größere Geißeln nachgewiesen, daß sie aus einer elastischen, meist axialen Fibrille und einer Hülle von flüssigem Protoplasma bestehen (Fig. 5).

Fig. 5. Bau der Flagellatengeißel. A Geißel von Trachelomonas mit deutlichem seitlichen Axenfaden und Plasmasaum, a Querschnitt durch die Geißel (nach Plenge), B Geißel von Euglena, isoliert, mit Axenfaden und Plasma, welches ersteren schraubig umhüllt. Nach Bütschli. Aus Doflein.

Dadurch wird sowohl die Statik dieser Gebilde als auch ihre Funktion verständlich. Das nackte flüssige Protoplasma ist wie bei der Amöbenbewegung durch Aenderung der Oberflächenspannung das tätige kontraktile Element. Dadurch daß dasselbe mit einem elastischen Faden in fester Verbindung steht, wird die sonst ungeordnete Amöben-

bewegung in eine geordnete Bewegung übergeführt. Im Körper nehmen die Geißeln ihren Ursprung von sogenannten Basalkörpern, das sind kleine, stark färbbare Körperchen, die genetisch vom Kern abstammen (s. Fig. 1). Auch die Cilien besitzen eine axiale Fibrille (nach Schuberg) und sind durch Basalkörper im Plasma inseriert (Fig 4). Bei Tintinniden ist auch die Bildung der Basalkörper vom Kern aus beobachtet. Alles weitere über Bewegung siehe bei den einzelnen Gruppen.

γ) Ernährungsorganellen. Die Aufnahme fester Nahrung geschieht bei nackten Protozoen durch Pseudopodien. Genaueres hierüber siehe im Artikel „Rhizopoda". Bei Formen mit erhärteter Pelicula kann die Nahrung selbstredend nur an Stellen ohne Pelicula in das Körperinnere aufgenommen werden und es findet sich somit eine vorgebildete, oft trichterartig eingestülpte Oeffnung in der Pelicula, die als Zellmund (Cytostom) bezeichnet wird. Auch ein besonderer Zellafter (Cytopyge) kann vorgebildet sein. Kurz erwähnt seien noch die Nahrungsvakuolen. Das sind Flüssigkeitsansammlungen, die sich im Körper um die aufgenommene Nahrung bilden. Daneben gibt es noch sogenannte kontraktile Vakuolen, die vielfach in ganz bestimmter Zahl und an ganz bestimmter Stelle auftreten und sich periodisch füllen und entleeren. Es handelt sich nicht um dauernde kontraktile Blasen, sie werden vielmehr stets neu durch Vakuolenbildung im flüssigen Protoplasma gebildet, auch wenn sie stets an derselben Stelle auftreten. Sie werden wohl mit gutem Recht als Exkretionsorganellen betrachtet.

2b) Kern und Kernteilung. Der zweite unerläßliche Bestandteil jedes Protozoons ist der Kern. Derselbe ist entweder in der Einzahl vorhanden (monoenergide Zelle) oder in der Mehrzahl (polyenergide Zelle). Der Kern der meisten Protozoen ist ein bläschenförmiges Gebilde, im einfachsten Falle ist alles Chromatin und Plastin (Nukleolarsubstanz) in einem einheitlichen, stark färbbaren kugeligen Körper vereinigt, der Caryosom genannt wird, und vom Protoplasma nur durch eine helle strukturlose Zone, die Kernsaftzone getrennt ist. An dem Caryosom spielen sich im Laufe des Lebens komplizierte zyklische Veränderungen ab, die morphologisch in periodischer Abgabe und Wiederaufspeicherung seiner Komponenten zutage treten können. Dieselben gehen bei manchen (schon komplizierteren) Kernformen so weit, daß vom Caryosom oft nur noch ein zentrales Körnchen übrig bleibt, das, wie seine Rolle bei der Kernteilung zeigt, als Centriol anzusprechen ist (Fig. 6 III). Dadurch, daß bei höheren Kernformen die vom Caryosom ringsum abgetrennten Chromatinelemente dauernd in der Kernsaftzone bleiben, entsteht ein sogenannter Außenkern, wobei im Kernsaft durch Ausfällung ein achromatisches Wabenwerk, das sogenannte Liningerüst zustandekommt, in dessen Knotenpunkten die Chromatinkörner des Außengerüstes eingelagert sind (Fig. 6 III). Bei den meisten Protozoenkernen ist dauernd ein Außenkern vorhanden. Oft finden sich in demselben auch nukleolusartige Ansammlungen von chromatischer und Nukleolarsubstanz, also echte Nukleolen. Dadurch, daß das Chromatin sich ziemlich gleichmäßig in dem Liningerüst verteilt und ein zentrales Caryosom nicht mehr zu beobachten ist, entstehen die sogenannten massigen Kerne (Fig. 7).

Ebenso mannigfaltig wie der Bau ist auch die Teilung der Kerne, es finden sich die verschiedenartigsten Uebergänge (speziell bei bläschenförmigen Kernen) von einer scheinbaren amitotischen Durchschnürung bis zu hoch ausgebildeten Mitosen. In fast allen Fällen lassen sich bei der Kernteilung zwei Komponenten unterscheiden, eine generative Komponente, die den Chromosomen in der Metazoenmitose entspricht und eine lokomotorische Komponente, meist in Form einer Zentralspindel mit oder ohne Zentren (Nukleocentrosome, Polkappen oder Centriolen) an den Polen. Daher werden auch diese scheinbaren Amitosen und primitiven Mitosen besser als Promitosen bezeichnet. Beide Komponenten sind entweder im Caryosom vereint (Fig. 6 I, II) oder unregelmäßig auf Außenkern und Caryosom verteilt (Fig. 6 III) oder (manche Thecamöben und Euglenen) auch im Ruhekern dauernd als Außenkern und Caryosom unterschieden (Fig. 6 IV). Diese Zentren (resp. die lokomotorischen Komponenten) gehen aus dem Caryosom hervor (Fig. 6 I—IV). Nur solche zentrale Binnenkörper, welche die lokomotorische Komponente bei der Kernteilung liefern, sind Caryosome (Caryosomkerne), anderenfalls sind es Nukleolen, die bei der Kernteilung häufig ausgestoßen werden. Derartige scheinbaren Caryosomkerne sind in der Weise zu verstehen, daß die lokomotorische Komponente (Centriol) sich von dem ursprünglichen Caryosom abgetrennt hat (Pseudocaryosomkerne Fig. 8).

In den wenigen Fällen, wo bei Protozoen echte Centrosome im Plasma auftreten (Heliozoen), nehmen auch diese ihren Ursprung aus dem Kern, und zwar vom Caryosom (Fig. 9). Das Centrosom kann in diesen Fällen entweder als die ins Plasma übergewanderte lokomotorische Kernkomponente aufgefaßt werden oder aber (mit größerer Wahrscheinlichkeit) als ein durch heteropole Teilung entstandener zweiter Kern, dessen generative Komponente dauernd rückgebildet ist.

Digitized by Google

Wie es polyenergide Zellen gibt, so sind nun neuerdings auch polyenergide Kerne (Polycaryen) nachgewiesen worden. Es sind das vielwertige Kerne, die dadurch entstehen, daß einfache bläschenförmige Kerne (Caryosomkerne, Monocaryen) sich fortgesetzt innerhalb derselben Kernsaftzone weiter teilen (Fig. 10). Sie können zu gewissen Zeiten

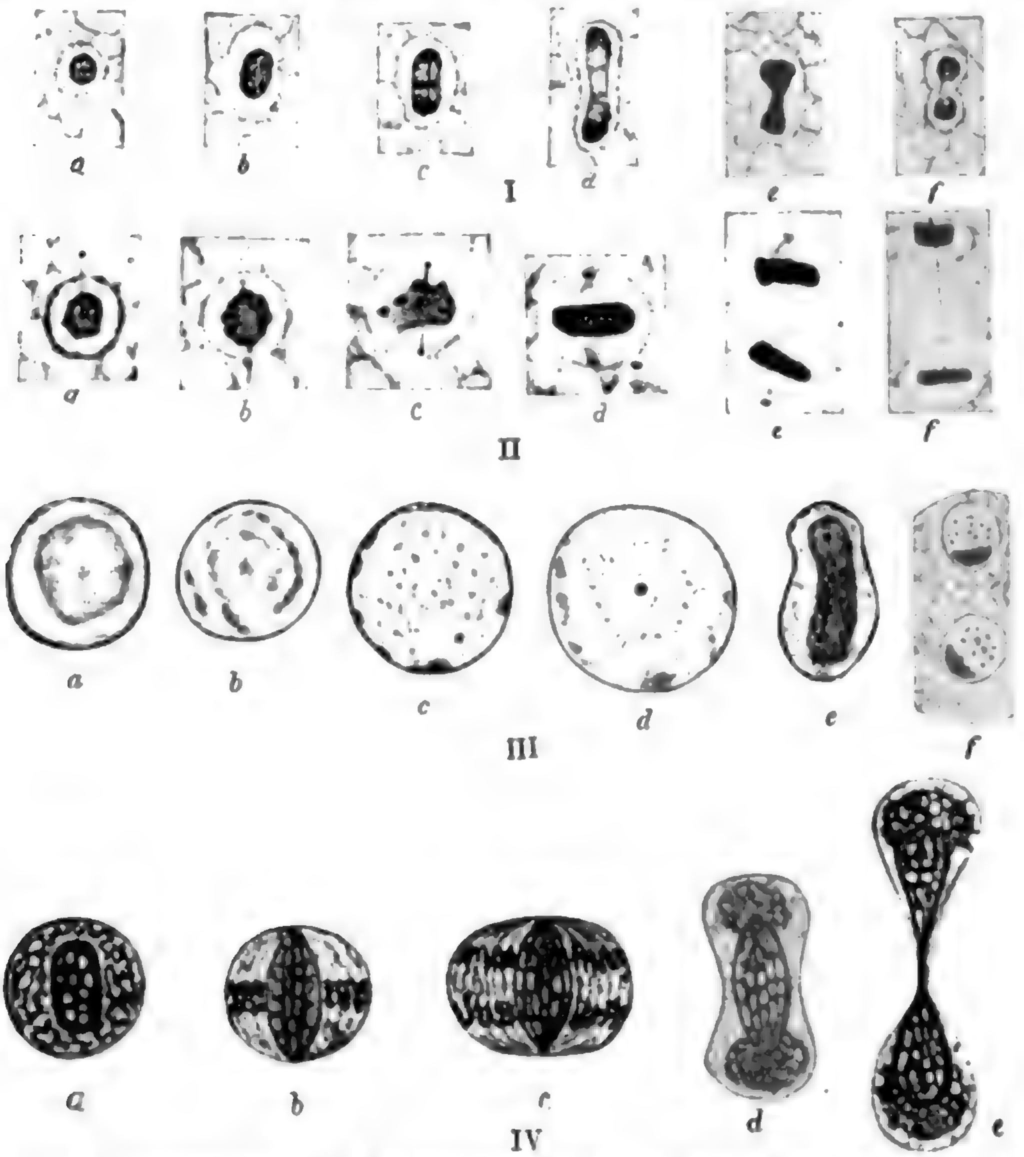


Fig. 6. Echte Caryosomkerne. I. Caryosomkern ohne Außenkern von Amoeba lacertae (Limax-Form). a—d gewöhnliche Kernteilung, e—f abgekürzte. Nach Nägler. II. Caryosomkern und dessen Teilung von Spongomonas uvella. Nach Hartmann und Chagas. III. Caryosomkern mit vegetativem Außenkern von Entamoeba tetragena. a—d zyklische Veränderungen am Caryosom, e—f Kernteilung (Caryosom-Promitose). Nach Hartmann. IV. Caryosomkern mit generativem Außenkern von Chlamydophrys enchelys. Nach Schaudinn (Nachlaß). Aus Hartmann.

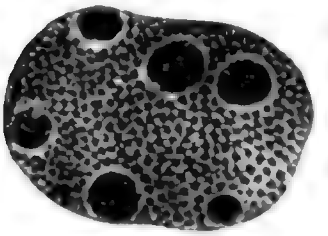


Fig. 7. Sogenannter massiger Kern mit echten Nukleolen von Ceratium tripos. Nach Jollos. Aus Doflein.

einen scheinbar einheitlichen Kern vortäuschen, der in Wirklichkeit aber aus vielen (in einzelnen Fällen über 1000) Tochterkernen sich zusammensetzt. Seine vielwertige Natur kommt vor allem bei der Fortpflanzung klar zutage, indem die Einzelkerne ins Plasma überwandern (Radiolarien Fig. 11), oder der polyenergide Kern simultan in seine Einzelelemente zerfällt. Auch dieser absonderliche, von der sonst im ganzen Tier- und Pflanzenreich herrschenden Zweiteilung scheinbar ganz abweichende Kernvermehrungsmodus der multiplen Kernteilung ist, wie ersichtlich, nur eine Modifikation der gewöhnlichen Zweiteilung.

Als dritter Kernvermehrungsmodus wird eine Kernbildung aus sogenannten Chro-

midien angegeben. Als Chromidien werden chromatische Substanzen bezeichnet, die aus dem Kern ins Protoplasma übergetreten sind, in dem sie sich weiterhin vermehren können und in Form von Körnchen, Strängen, Brocken, Netzen vorfinden. Aus diesen Chromidien können dann einerseits Reservestoffe (Glykogen usw.) gebildet werden (**vegetative oder somatische Chromidien**), andererseits sollen daraus Kerne entstehen können (**generative Chromidien**). In den wenigen Fällen, in denen eine derartige Kernbildung wirklich erwiesen scheint (Foraminiferen), ist sie wohl eher als die Aufteilung eines polyenergiden Kerns zu betrachten.

Fig. 8. Pseudocaryosomkern von Myxobolus pfeifferi. Abtrennung des Centriols vom ursprünglichen Caryosom (a), das dadurch zum Nukleolus wird und bei der Teilung zugrunde geht. Nach Keysselitz. Aus Hartmann.

Fig. 9. Acanthocystis aculeata. Bildung des Zentralkornes (Centrosom, lokomotorischen Kernes) durch heteropole Caryosomteilung (a—c) und Entstehung der Mitose durch Zusammenwirken von Kern und Zentralkern (d und e). a nach Keysselitz, b—e nach Schaudinn.

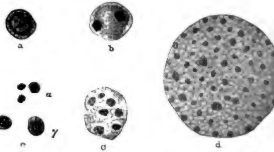


Fig. 10. Wagnerella borealis (Heliozoe). a—d Bildung eines großen polyenergiden Kernes durch fortgesetzte Teilung der Caryosome. e Zweiteilung der monoenergiden Sekundärkerne, die durch Zerfall des Primärkernes (Polycaryons) entstanden sind. Nach Zülzer. Aus Hartmann.

Wie es bei Metazoen verschieden differenzierte Zellen gibt, so kommen bei Protozoen verschieden differenzierte Kerne vor. Am meisten bekannt sind die Verhältnisse bei den Infusorien, bei denen sich **somatische Kerne** (sogenannte Makronuklei) und **Geschlechtskerne** (Mikronuklei) finden. Aehnliche Verhältnisse, wenn auch nicht so konstant, werden auch bei anderen Protozoengruppen angetroffen. Eine Differenzierung anderer Art ist die in einen Hauptkern und den mehr lokomotorischen Geißelkern (Kinetonukleus) bei manchen Flagellaten (Fig. 12). Auch die Basalkörner und Geißeln der Flagellaten sind wahr-

Digitized by Google

scheinlich als derartig rückgebildete (differenzierte) Kerne aufzufassen (Fig. 12), desgleichen das oben erwähnte Zentralkorn (Centrosom) der Heliozoen.

Fig. 11. Stück eines Schnittes durch die Zentralkapsel von Thallassicola nucleata (Radiolar). Aus dem polyenergiden Kern wandern viele Sekundärkerne in schlauchförmiger Anordnung durch die Kernmembran ins Plasma. Nach Huth.

3. Fortpflanzung, Befruchtung und Entwickelung. Die Fortpflanzung geschieht durch Teilung (Zellteilung und ihre verschiedenen Modifikationen). Bei monoenergiden Formen (Amöben, Flagellaten usw.) folgt dabei die gewöhnlich in Form der Zweiteilung sich vollziehende Zellteilung direkt der Teilung des in der Einzahl vorhandenen Kernes, ja sie kann sogar noch vor vollendeter Kernteilung beginnen. Bei Protozoen mit bestimmter Körpergestalt erfolgt die Teilung in einer bestimmten Richtung. So teilen sich die meisten Flagellaten der Länge nach, die Ciliaten quer. Eine Modifikation der Zweiteilung ist die sogenannte Knospung, bei der ein kleineres Teilstück sich von einem größeren abschnürt. Zwischen beiden steht die bei Thecamöben vorkommende Knospungsteilung, bei der erst eine Knospe angelegt wird, die nachträglich zu der gleichen Größe des Elterntieres heranwächst und dann sich durchteilt. Dadurch, daß ein Individuum sich mehrmals hintereinander teilt ohne eingeschaltetes Wachstumsstadium, kommt es zur Ausbildung multipler Fortpflanzungsvorgänge. Am ausgesprochensten sind dieselben bei polyenergiden Formen, bei denen sich der Kern vielmals ohne die Zelle geteilt hat. Diese Formen zerfallen meist simultan durch sogenannte Zerfallteilung in soviele einwertige monoenergide Fortpflanzungszellen als Kerne vorhanden waren. Die Zerfallteilung ist durch mannigfache Uebergänge mit der Zweiteilung verbunden. Bei polyenergiden Formen (Rhizopoden und Myxosporidien) können außerdem Zweiteilungen und einfache oder mehrfache Knospungen vorkommen, wobei wieder vielkernige Teilstücke entstehen. Diese Vermehrung ist mithin ohne direkte Beziehung zur Kernteilung und wird als Plasmotomie bezeichnet.

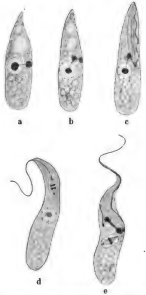


Fig. 12. Bildung des Geißelkernes (Kinetonukleus) und der Geißel durch heteropole Kernteilungen nach Schaudinn. (a—c) und mitotische Teilung von Kinetonukleus und Hauptkern (d und e). Aus Hartmann.

Befruchtung. Bei allen Protozoengruppen finden sich Befruchtungsvorgänge. Die Ausbildung derselben ist außerordentlich mannigfaltig und ihr Studium bei den Protozoen ist für die allgemeine Beurteilung der Befruchtung und ihre Beziehung zur Fortpflanzung von größter Bedeutung. Das Wesen der Befruchtung besteht wie bei den Metazoen in der Verschmelzung zweier, vermutlich geschlechtlich verschiedener Kerne, deren Chromatinmenge, respektive Chromosomenzahl sich scheinbar vorher, in Wirklichkeit aber nachher durch zwei besondere Kernteilungen

Digitized by Google

auf die Hälfte reduziert. Zum Wesen eines Befruchtungsvorganges gehört also neben der Kernverschmelzung, der Caryogamie, die darauf folgende Reduktion der chromatischen Substanz der beiden verschmolzenen Kerne. Die Reduktionsteilungen sind entweder mit Vermehrungsvorgängen (Zellteilungen) verbunden (wie bei der Samenreifung der Metazoen) oder aber es bleibt nur ein Kern in einer ungeteilten Zelle erhalten und die übrigen (2 oder 3) werden im Plasma der einen Zelle resorbiert oder ausgestoßen (wie bei der Eireifung).

Man kann bei den Protozoen drei Hauptgruppen von Befruchtungsvorgängen unterscheiden: 1. Kopulation, 2. Konjugation und 3. Autogamie.

Die Kopulation schließt sich vollständig den Verhältnissen an, die wir von den höheren Tieren kennen. Bei ihr verschmelzen zwei ganze Zellen miteinander. Die miteinander verschmelzenden Zellen werden Gameten genannt, falls die Reduktionsteilungen schon durchgeführt sind, das Produkt der Verschmelzung Zygote und der aus der Vereinigung der beiden Kerne hervorgegangene neue Kern Syncaryon. Solange die kopulierenden Zellen noch keine reduzierten Kerne besitzen bezeichnet man sie auch als Gametocyten. Die kopulierenden Gameten sind im einfachsten Falle von gewöhnlichen vegetativen Individuen nicht verschieden. Man spricht dann von Hologamie[1]) und zwar wenn beide Zellen vollkommen gleich scheinen (eine physiologische Verschiedenheit muß immerhin dabei angenommen werden) von Isogamie und Isogameten, wenn sie an Größe verschieden sind von Anisogamie. Und zwar wird der größere, meist reservestoffreichere Gamet als weiblicher oder Makrogamet bezeichnet, der kleinere, stärker bewegliche als männlicher oder Mikrogamet. Bei der Hologamie werden die Gametocyten direkt ohne Vermehrung zu Gameten, da nur der Resorption verfallende Reduktionskerne gebildet werden. Im Falle einer hologamen Kopulation ist es klar, daß von einer geschlechtlichen Fortpflanzung nicht die Rede sein kann, da ja im Gegenteil die Zahl der Individuen durch die paarige Verschmelzung auf die Hälfte herabgesetzt wird.

Falls die kopulierenden Gameten kleiner sind als die vegetativen Individuen, dadurch daß eben aus einer multiplen Fortpflanzung (fortgesetzte Zweiteilung oder Zerfallsteilung) hervorgegangene Zellen kopulieren, so nennt man das Merogamie. Nur in diesem Falle kann eine geschlechtliche Fortpflanzung, eine Gametogonie, vorliegen und man nennt dann vielfach die gametenbildenden Elternzellen Gamonten. Hierbei sind in der Regel die Reduktionsteilungen an die beiden letzten Zellteilungen geknüpft. Auch bei merogamer Befruchtung gibt es Isogamie und Anisogamie. Letztere ist hierbei die Regel und man trifft z. B. bei Gregarinen alle Uebergänge von einer scheinbaren Isogamie bis zu einer ganz extremen sexuellen Differenzierung nach Art der Metazoen, sogenannte Oogamie. Bei vielen oogamen Formen, so bei Coccidien und Hämosporidien, ist im weiblichen Geschlecht sekundär die Fortpflanzung rückgebildet, um den Makrogameten (Ei) mit einer möglichst großen Menge von Plasma auszurüsten und in diesem Falle sind auch die Reduktionsteilungen nur Kernteilungen ohne Zellteilung.

Die zweite Hauptgruppe der Befruchtung ist die ausschließlich auf die Ciliaten beschränkte Konjugation. Hierbei verschmelzen 2 erwachsene Individuen zeitweilig unvollständig miteinander. Der Geschlechtskern (Mikronukleus) eines jeden Individuums reduziert sich durch 2 aufeinanderfolgende Teilungen, wobei 3 als Reduktionskerne zugrunde gehen und nur einer erhalten bleibt; letzterer teilt sich hierauf nochmals, worauf der eine der eben hervorgegangenen Kerne als Wanderkern (männlicher Kern) je in das andere Individuum überwandert, um dort mit dem zurückgebliebenen stationären, weiblichen Kern zu verschmelzen. Nach der gegenseitigen Kernverschmelzung trennen sich dann wiederum die beiden Individuen. Es handelt sich also um eine Doppelbefruchtung, die dadurch möglich ist, daß die Zelleiber nicht dauernd verschmelzen, sondern je ihren männlichen Kern austauschen. Die konjugierenden Individuen sind keine Gameten, wie sie oft fälschlich bezeichnet werden, sie sind vielmehr, da es sich um polyenergide Zellen handelt, den die Gameten liefernden Elternzellen, den Gamonten, homolog.

Die dritte Modifikation ist die Autogamie oder Selbstbefruchtung. Sie vollzieht sich meist innerhalb einer Cyste und ihr Wesen besteht darin, daß der Kern eines einzigen Individuums sich zunächst in zwei Kerne teilt, die nach Ausstoßung je zweier Reduktionskerne als Gametenkerne wiederum zu einem einzigen Syncaryon verschmelzen. Dieser Vorgang spielt sich also in einem einzelnen Individuum ab. Durch die sogenannte Pädogamie, bei der die Gameten Geschwisterzellen 1., 2. oder sonst niederen Grades sind, läßt er sich durch Unterdrückung

[1]) Beispiele und Abbildungen der verschiedenen Modifikationen der Befruchtung finden sich in den Artikeln „Flagellata", „Rhizopoda", „Sporozoa" und „Infusoria".

der Zellteilung von der normalen Kopulation ableiten.

Eine gewisse Aehnlichkeit damit haben Vorgänge, wie sie sich bei der Parthenogenese finden. Als solche bezeichnet man eine Fortpflanzung von weiblichen Gameten (Makrogameten, Eiern) ohne vorhergegangene Befruchtung. Dieselbe kommt auch bei Protozoen vor.

Die Befruchtung hat mit der Fortpflanzung ursprünglich nichts zu tun. Das ist bei all den Formen, bei denen sich die Befruchtung in Form von Hologamie, Konjugation oder Autogamie abspielt, klar ersichtlich. Die Art der Fortpflanzung ist in all den Fällen vor und nach der Befruchtung stets die gleiche und man kann nur von einer agamen Fortpflanzung und einer zwischen einer Reihe von solchen eingeschobenen Befruchtung reden. Von einer geschlechtlichen Fortpflanzung, einer Gametogonie kann jedoch nur die Rede sein bei einer Merogamie, wenn die Gameten durch eine besondere Art der Fortpflanzung gebildet werden. In diesem Fall liegt dann auch ein typischer Generationswechsel vor. Derselbe kann dadurch noch komplizierter werden, daß noch verschiedene agame Generationen mit besonderer Vermehrung sich in Anpassung an bestimmte biologische Verhältnisse ausgebildet haben, wie die Schizogonie und Sporogonie bei den Coccidien und Plasmodien.

4. Systematik. Wie schon eingangs erwähnt, müssen wir zu dem Stamm der Protozoen auch einen Teil der Formen rechnen, die die Botaniker unter den Algen und Pilzen behandeln, und zwar sind es vor allen Dingen ein Teil der Flagellaten, sowie die Gruppe der Myxomyceten.

Bis vor etwa 10 Jahren teilte man den Stamm der Protozoen ziemlich allgemein in vier bis fünf einzelne Klassen, nämlich:

1. Sarcodina oder Rhizopoda,
2. Mastigophora oder Flagellata,
3. Sporozoa,
4. Infusoria mit den beiden Unterklassen:
   a) Ciliata und
   b) Suctoria.

Diese Klasseneinteilung gründet sich vorwiegend auf die Bewegungsorganellen mit Ausnahme der rein parasitischen Sporozoen, bei denen dieselben meist rückgebildet sind. Doflein hat dann mit Rücksicht auf die Kernverhältnisse, Fortpflanzungs- und Befruchtungsvorgänge vorgeschlagen, die drei ersten Klassen als Plasmodroma, den Infusorien als Ciliophora gegenüberzustellen. Die Kluft zwischen Infusorien und den übrigen Klassen, die diese neue Einteilung hervorgerufen hat, ist aber durch neuere Befunde aus beiden Gruppen stark überbrückt worden, so daß eigentlich keiner der von Doflein angeführten Charaktere nur allein auf die eine Gruppe zutrifft. Es erscheint uns daher richtiger, wiederum zu dem früheren Modus zurückzukehren, ja sogar die Zahl der Klassen noch zu erhöhen. Die Vermehrung der Klassen ist bedingt durch die Aufteilung der Sporozoen, die Hartmann vorgeschlagen hat, da die beiden Unterklassen der Telosporidien und Neosporidien durch die neueren Untersuchungen wohl ziemlich sicher von verschiedener Herkunft sind, indem die ersteren von den Flagellaten, die letzteren von Amöben abstammen. In diesem Handbuch werden noch die beiden Klassen zusammen als Sporozoa abgehandelt. Als zwei Gruppen von unsicherer systematischer Stellung, deren Protozoennatur sogar kontrovers ist, werden die Spirochäten und Chlamydozoen anhangsweise den Protozoen angereiht und besonders behandelt, während die merkwürdigen Trichonymphiden, die sowohl Beziehungen zu Flagellaten wie zu Infusorien aufweisen, bei den Flagellaten abgehandelt werden.

Literatur. **O. Bütschli,** *Protozoa, in Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs.* — **Derselbe,** *Vorlesungen über vergleichende Anatomie, 1. Lief. Leipzig 1910.* — **Dobell,** *Principles of Protistologie, Archiv f. Protistenkunde, Bd. 23.* — **Doflein,** *Lehrbuch der Protozoenkunde, 3. Aufl. Jena 1911.* — **Hartmann,** *System der Protozoen, in v. Prowazeks Handbuch der pathogenen Protozoen, 1. Bd. Leipzig 1911.* — **Derselbe,** *Die Konstitution der Protistenkerne und ihre Bedeutung für die Zellenlehre. Jena 1911.* — **Derselbe,** *Autogamie bei Protisten und ihre Bedeutung für das Befruchtungsproblem, Archiv f. Protistenkunde, Bd. 14.* — **A. Lang,** *Vergleichende Anatomie, 1. Lief. Protozoen. Jena 1901.* — **v. Prowazek,** *Physiologie der Einzelligen. Leipzig 1910.*

M. Hartmann.

Psychologie.

Experimentelle Psychologie.

1. Abgrenzung gegen die Naturwissenschaften s. str. 2. Aufgaben der Psychologie. 3. Geschichtliche Entwickelung der psychologischen Methoden. a) spekulative, b) empirische, c) experimentelle oder physiologische Psychologie. 4. Das psychologische Experiment. 5. Nichtexperimentelle Einzelbeobachtungen und Sammelbeobachtungen (Statistik). 6. Anwendung der Mathematik auf die psychologischen Untersuchungsergebnisse. 7. Verwertung der Hirnphysiologie und Hirnpathologie. 8. Individual- und Massenpsychologie; Völkerpsychologie. 9. Tierpsychologie und Beziehung zur Zoologie.

Digitized by Google

10. Allgemeine psychologische Gesetze. 11. Hauptrichtungen der heutigen Psychologie. 12. Beziehung zur Erkenntnistheorie.

1. Abgrenzung gegen die Naturwissenschaften. Unbeschadet der erkenntnistheoretischen Tatsache, daß uns unmittelbar nur psychische Prozesse, Empfindungen und Vorstellungen, gegeben sind, unterscheiden wir materielle und psychische Prozesse und überlassen der Erkenntnistheorie die Untersuchung der Frage, wie wir zu dieser Unterscheidung gekommen sind, mit welchem Recht und in welchem Sinne wir sie festhalten können und wie weit für beide Reihen eine höhere Einheit im Sinne irgendeiner monistischen Theorie existiert. Auch die Frage, wodurch sich materielle und psychische Prozesse unterscheiden, fällt damit der Erkenntnistheorie zu. Die moderne Psychologie als solche betrachtet einfach den Gegensatz zwischen Materiellem und Psychischem als gegeben und als jedermann durch seine Selbsterfahrung geläufig. Dementsprechend ergeben sich zwei große Wissenschaftsgebiete: die Wissenschaft von den materiellen Prozessen (Dingen, Gegenständen usf.) und die Wissenschaft von den psychischen Prozessen. Erstere kann man als Naturwissenschaft, letztere als Psychologie bezeichnen. Dieser Gegensatz ist jedoch nichts weniger als prinzipiell. Erwägt man, daß letztere ganz ebenso wie erstere das Gegebene untersucht, ohne als Hauptzweck die Regulierung unseres Denkens und Handelns (wie Logik und Ethik) oder diesen oder jenen praktischen Nutzen (wie z. B. die Medizin) im Auge zu haben, so tritt die Psychologie der Naturwissenschaft im Gegensatz zu allen diesen regulativen oder praktischen Wissenschaften wesentlich näher. Sie ist wie diese eine „Wissenschaft vom Gegebenen" und kann insofern geradezu als Teildisziplin einer Naturwissenschaft im weiteren Sinne gelten (vgl. den Artikel „Naturwissenschaft").

2. Aufgabe der Psychologie. Die Aufgabe der Psychologie in diesem Sinne ist denn auch der Aufgabe der Naturwissenschaften im wesentlichen ganz analog. Die Psychologie hat das gegebene Psychische zu sammeln (gewissermaßen zu inventarisieren), zu zergliedern, dann zu klassifizieren und die allgemeinen Gesetze der psychischen Veränderungen festzustellen, ganz in derselben Weise etwa, wie der Botaniker Pflanzen sammelt, beschreibt, systematisch ordnet, anatomisch zergliedert und physiologisch-biologische Gesetze ermittelt. Sie kann sich wohl als „angewandte Psychologie" gelegentlich in den Dienst einer praktischen Wissenschaft, z. B. der Pädagogik oder Psychiatrie stellen, etwa wie die Physik und die Chemie in den Dienst der Technik, aber sie erfüllt damit nicht ihren wissenschaftlichen Grundzweck: Feststellung, Zergliederung und Ordnung des gegebenen Psychischen und Erforschung der Gesetze seiner Veränderungen.

3. Geschichtliche Entwickelung der psychologischen Methoden. Nicht immer hat die Psychologie die eben ihr zugewiesene Aufgabe klar erkannt. Sie trat früher oft in den Dienst der Philosophie oder vielmehr eines philosophischen Systems, zuweilen auch in den Dienst einer Religion oder eines theologischen Systems. Statt das gegebene Psychische selbst zu untersuchen, untersuchte sie einen ihr von Philosophie oder Theologie gegebenen, nach den Ansprüchen eines Systems zugestutzten Seelenbegriff. Das spiegelte sich auch klar in den Methoden der Psychologie wieder. Die ältere Psychologie war im wesentlichen spekulativ. Sie glaubte durch logische Analyse des Seelenbegriffs und mit Hilfe philosophischer oder theologischer Allgemeinsätze eine Psychologie aufbauen zu können. A priori sollte z. B., wie Chr. Wolff wörtlich sagt, Rechenschaft gegeben werden, warum gerade diese und keine anderen Seelenvermögen existieren und warum die Seele bei ihren „Modifikationen" diesen und keinen anderen Gesetzen folgt („cur istius modi potius insint facultates quam aliae et cur anima has potius in modificationibus suis sequatur leges quam alias"). Stillschweigend wurden natürlich auch bei dieser spekulativen Psychologie einzelne psychologische Erfahrungen verwertet. Chr. Wolff, der letzte große spekulative Psychologe (1679 bis 1754), führt sogar ausdrücklich neben Ontologie und Kosmologie die empirische Psychologie als Hilfswissenschaft der Psychologia rationalis, d. h. eben der spekulativen Psychologie an. Aber diese empirische Grundlage war doch minimal, sie wurde nur eben so weit verwertet, als sie notwendig war, um der Spekulation überhaupt einen gewissen Inhalt und der spekulativen Seele eine gewisse Aehnlichkeit mit den empirisch gegebenen psychischen Prozessen zu verschaffen. Mit diesem Standpunkt hing es denn auch zusammen, daß man glaubte die psychologischen Gesetze logisch ableiten und beweisen zu können.

Nur sehr langsam hat die spekulative Psychologie ihre Herrschaft aufgegeben. Noch Kant (1724 bis 1804) stand fast ganz unter der Herrschaft der rationalen Psychologie Wolffs, obwohl letzterer selbst neben der Psychologia rationalis, wie erwähnt, bereits eine Psychologia empirica anerkannt hatte. Selbst Herbart (1776 bis 1841), der durch die Beseitigung der Lehre von den Seelenvermögen der spekulativen Psychologie den Todesstoß gab, glaubte doch andererseits noch bei der Entwickelung seiner Psychologie von dem

Digitized by Google

ganz spekulativen Prinzip der Einheit des Ich ausgehen zu müssen. Erst unter seinen Schülern, namentlich Waitz (1821 bis 1864), Beneke (1798 bis 1854), Fortlage (1806 bis 1881) und Volkmann (1822 bis 1877), hat sich mehr und mehr eine Elimination der metaphysischen Bestandteile vollzogen, so daß man wohl sagen kann, um die Mitte des 19. Jahrhunderts habe die empirische Psychologie definitiv den Sieg über die spekulative davongetragen.

Trotz dieses Sieges waren die wissenschaftlichen Leistungen der empirischen Psychologie unverhältnismäßig gering. Die induktive Methode, lediglich auf Sammeln der mehr oder weniger zufälligen Beobachtungen angewiesen, hatte sich sehr bald erschöpft. Bei der Kompliziertheit der meisten uns gegebenen psychischen Prozesse und namentlich auch bei ihrer Flüchtigkeit war die empirische Psychologie in einer viel mißlicheren Lage als irgendeine beschreibende Naturwissenschaft, die neben komplizierten auch einfache Objekte in größerer Zahl vorfindet, deren Objekte außerdem viel stabiler sind, längere Zeit beobachtet und selbst konserviert werden können und die daher auch die komplizierten Objekte zu zergliedern vermag. Fast gleichzeitig mit ihrem Sieg hatte daher die empirische Psychologie, die sich selbst stolz als naturwissenschaftliche bezeichnete, auch ihre Grenzen erreicht. Streicht man in einem damaligen Lehrbuch alle Phrasen, Anekdoten, Nutzanwendungen und metaphysischen Rückfälle, so ist der eigentliche wissenschaftliche Inhalt mit höchstens 100 Seiten erschöpft. Es mußte, um die moderne Psychologie zu schaffen, ein neuer Anstoß erfolgen.

Dieser neue Anstoß, dem die heutige sogenannte experimentelle oder physiologische Psychologie ihre Existenz verdankt, erfolgte in zwei Richtungen, die beide durchaus dem naturwissenschaftlichen Charakter, den schon die empirische Psychologie für die neue Wissenschaft verlangt hatte, treu bleiben, ja geradezu die notwendige Konsequenz aus diesem naturwissenschaftlichen Charakter ziehen. Erstens wurde die experimentelle Methode in die Psychologie eingeführt[1]) und zweitens die fortlaufende Beziehung auf die Physiologie der Sinnesorgane und des Nervensystems, vor allem des Gehirns, zum methodologischen Grundsatz erhoben. Beide methodologische Prinzipien sind von nahezu gleicher Bedeutung. Der experimentellen Methode verdankt die neuere Psychologie vor allem ein enormes wissenschaftlich verwertbares Tatsachenmaterial, der Beziehung zur Physiologie vor allem vielfach die Richtungslinien ihrer Forschung. Historisch haben beide Prinzipien sich nebeneinander und fast gleichzeitig entwickelt. Im folgenden soll zuerst das experimentelle Prinzip mit seinen Schranken und Konsequenzen und dann das physiologische Prinzip erörtert werden.

4. Das psychologische Experiment. Der Grundgedanke des psychologischen Experiments ist ganz derselbe wie derjenige jedes naturwissenschaftlichen Experiments. Das Gegebene ist uns allenthalben, ganz besonders gerade auch auf psychischem Gebiet (s. o.) in so komplizierten Zusammensetzungen und Verbindungen gegeben, daß es für die wissenschaftliche Untersuchung meistens ungeeignet ist. Dazu kommt, daß es überall zerstreut ist und uns nur zufällig begegnet. Selbst wenn wir uns ausdrücklich ein Sammeln einer bestimmten Gruppe psychischer Vorgänge zum Ziel setzen, bleibt es doch in hohem Maß dem Zufall überlassen, ob dieses Sammeln und Suchen auch nur einigen Erfolg hat. Wenn der Physiker die Lehre vom Magnetismus auf Grund der gelegentlichen Beobachtung an einem zufällig gefundenen Stück Magneteisenstein oder die Lehre von der Elektrizität auf Grund gelegentlicher Gewitterbeobachtungen hätte entwickeln sollen, so wäre er niemals zu nennenswerten wissenschaftlichen Ergebnissen gelangt. Er stellt daher Experimente an, bei denen künstlich die Verhältnisse vereinfacht sind und die ihn von dem Zufall des Sammelns und Findens unabhängig machen. Ganz ebenso der moderne Psycholog. Statt z. B. die Denkvorgänge hier und da im täglichen Leben in ihrer unendlichen Komplikation aufzusuchen, isoliert er diejenigen, die er gerade untersuchen will, in dem sogenannten Assoziationsversuch (Zurufen eines Wortes durch den Versuchsleiter — Feststellung der erstauftauchenden Vorstellung bei der Versuchsperson im einfachsten Falle) experimentell unter vereinfachten, jederzeit in derselben Weise wiederherstellbaren, konstanten Bedingungen.

Man hat anfangs dieser Methode vorgeworfen, daß sie der Kompliziertheit des tatsächlichen psychischen Lebens nicht gerecht werde. Man könnte ebensogut dem Chemiker vorwerfen, daß er nicht damit beginne, die gesamte chemische Zusammensetzung des Tierkörpers zu untersuchen, und zuerst einfache Oxydationsprozesse u. dgl. untersucht habe. Selbstverständlich steigt die moderne Psychologie, sobald sie die einfachen Prozesse untersucht hat, Schritt für Schritt zu den zusammengesetzten empor

[1]) Herbart hatte noch erklärt: „Die Psychologie darf mit den Menschen nicht experimentieren."

Digitized by Google

und nähert sich damit mehr und mehr dem komplizierten natürlichen „psychischen Geschehnis". Sie darf und kann aber ebensowenig wie irgendeine Naturwissenschaft mit letzterem beginnen. Die Psychologie ist sogar in noch viel höherem Maße als irgendeine Naturwissenschaft auf diese synthetische oder aufsteigende experimentelle Methode an- und hingewiesen. Da bei der Flüchtigkeit der psychischen Geschehnisse (s. o.) ihr alle einigermaßen bleibenden „Gegenstände" fehlen, ist eine exakte Zergliederung oder Analyse nur in allerbeschränktestem Maße möglich. Die Geschichte der Psychologie gibt zahlreiche Beispiele für Irrtümer, die sich aus inexakten Versuchen mit einem solchen analytischen Verfahren ergeben haben.

Damit hängt ein weiteres Prinzip der psychologischen Experimentaluntersuchung zusammen. Sie ist nicht nur überwiegend synthetisch, sondern auch überwiegend genetisch. Schon die einfachste Beobachtung lehrt, daß viele psychische Vorgänge primär, andere in bezug auf diese sekundär sind. Die Erinnerungsbilder oder Vorstellungen gehen aus den Empfindungen hervor. Diese sind primär, jene sekundär. Nihil est in intellectu, quod non fuerit in sensibus. Die Psychologie war daher gezwungen, im allgemeinen mit der Untersuchung der Empfindungen zu beginnen und dann erst zu der Untersuchung der Vorstellungen fortzuschreiten. Bei der Untersuchung der Empfindungen wiederum mußte sie im Sinne dieses genetischen Forschungsprinzips von den Reizen ausgehen, durch welche die Empfindungen verursacht werden. Nebenbei gesagt wurde schon dadurch eine Anknüpfung an die Physiologie, speziell die Physiologie der Sinnesorgane, der psychologischen Forschung geradezu aufgedrängt und damit das unten näher zu erörternde physiologische Prinzip nahegelegt. Außerdem konnte die Psychologie hier die experimentellen Methoden unmittelbar von der Physiologie, die sich dem Experiment schon viel früher zugewandt hatte, übernehmen.

Endlich ergibt sich aus dem Prinzip des Fortschreitens vom Einfachen und Ursprünglichen zum Zusammengesetzten und Abgeleiteten auch die große Bedeutung des psychologischen Experiments bei dem Kind und bei unzivilisierten Völkerschaften. Hier finden wir nicht nur an sich schon einfachere Untersuchungsbedingungen, sondern vor allem haben wir hier Gelegenheit, die psychischen Vorgänge entwickelungsgeschichtlich zu verfolgen. Das psychologische Experiment hat ganz speziell von einer solchen entwickelungsgeschichtlichen Methode die ausgiebigsten Aufschlüsse zu erwarten, nicht weniger erheblich als beispielsweise die experimentelle Entwickelungsgeschichte (Entwickelungsmechanik usf.) in der Zoologie und Anatomie.

Als der Begründer der experimentellen Methode in der Psychologie muß G. Th. Fechner (1801 bis 1887) gelten. Allerdings hat schon vor ihm sein älterer Freund Ernst Heinrich Weber und ebenso mancher andere Physiolog vom physiologischen Gesichtspunkt aus diese oder jene psychologische Frage experimentell untersucht, aber die prinzipielle Stellung des psychologischen Experiments ist erst von Fechner begründet worden. Sein Hauptwerk „Elemente der Psychophysik" erschien 1860. Es hat noch etwa 2 Jahrzehnte gedauert, bis die experimentelle Methode sich definitiv eingebürgert hat, und erst im letzten Jahrzehnt hat sie sich eine kaum noch bestrittene Herrschaft errungen. Insbesondere hat Wundt durch die Errichtung eines vorbildlichen Laboratoriums in Leipzig, durch seine „Grundzüge der physiologischen Psychologie" und durch zahlreiche Spezialarbeiten wesentlich zu diesem Sieg beigetragen. Gegenwärtig bestehen an den meisten deutschen und vielen ausländischen Universitäten psychologische Laboratorien, die allerdings zum großen Teil — wenigstens in Deutschland — noch nicht mit ausreichenden Mitteln ausgestattet sind.

5. Nicht-experimentelle Einzelbeobachtungen und Sammelbeobachtungen (Statistik). Mit der Aufstellung des Grundsatzes der absoluten Unentbehrlichkeit des psychologischen Experiments soll nun keineswegs jede andere Methode der psychologischen Forschung geächtet werden. Auch für die moderne Psychologie behalten interessante gelegentliche Einzelbeobachtungen großen Wert. Zuweilen können sie unmittelbar zur Aufklärung einer zweifelhaften Frage beitragen, öfter regen sie zu neuen aussichtsvollen experimentellen Fragestellungen an. Hierher gehören auch gelegentliche Beobachtungen an außergewöhnlichen Menschen, unter außergewöhnlichen Bedingungen (bei schweren Katastrophen, z. B. Erdbeben) u. dgl. m. Selbstverständlich besteht auch nicht das leiseste Bedenken dagegen, solche Einzelbeobachtungen auf einem bestimmten Gebiet systematisch zu sammeln ohne die bestimmten vereinfachten Bedingungen des Experiments. Namentlich in Amerika hat eine solche psychologische nichtexperimentelle Statistik durch Fragebogen usw. große Verbreitung gefunden, und schon Fechner hat sie bei seinen ästhetischen und anderen Untersuchungen in großem Umfang angewendet, indem er z. B. feststellte, welche Formverhältnisse der Grabkreuze, Visitenkarten usw. bevorzugt werden (sogenannte Methode der Verwen-

Digitized by Google

dung"). Freilich ist bei der Verwertung solcher Ergebnisse große Vorsicht geboten, da unkontrollierbare komplizierende Bedingungen nur allzu oft das Ergebnis beeinflussen. Namentlich hat die Fragebogenmethode, bei der eine ausreichende Einzelkontrolle der Versuchspersonen oft ganz unmöglich ist, zahlreiche ganz minderwertige Arbeiten hervorgebracht. Wenigstens sollte auch bei diesen nicht-experimentellen Sammelforschungen eine Annäherung an die experimentelle Methode versucht werden, indem das Gebiet der zu sammelnden Beobachtungen möglichst scharf bestimmt und einfach gewählt wird, so daß die beobachteten Personen unter Bedingungen stehen, die denjenigen des Experiments einigermaßen gleichen.

6. Anwendung der Mathematik auf die psychologischen Untersuchungsergebnisse. Kant hat die Anwendbarkeit der Mathematik auf Psychologie bestritten, Herbart hat die mathematische Berechnung in ausgiebigstem Maß, allerdings meist auf Grund sehr willkürlicher Annahmen auf die Psychologie angewandt. In der modernen Psychologie spielt ebenfalls die mathematische Berechnung eine große Rolle, aber in ganz anderem Sinne als bei Herbart. Da diese mathematische Verwertung der psychologischen Experimentalergebnisse für die ganze Auffassung der neueren Psychologie von erheblicher Bedeutung ist, soll sie auch hier kurz erörtert werden.

Vor allem muß folgende Erwägung eine mathematische Behandlung der Versuchsergebnisse fordern. Die psychischen Prozesse sind so fluktuierend (z. B. unter dem Einfluß der Aufmerksamkeitsschwankungen) und ergeben selbst unter den Bedingungen des Experiments so variable Ergebnisse, daß sich für eine bestimmte psychische Größe, z. B. die Dauer einer Reaktionszeit oder die Schwelle einer Empfindung bei einer Wiederholung des Versuches fortwährend wechselnde Werte ergeben. Statt eines konstanten Wertes erhält man also eine ganze Reihe von Werten, und es handelt sich nun darum, für diese Reihe einen sogenannten Repräsentationswert zu finden. Das arithmetische Mittel der Einzelwerte wäre, was die mathematische Berechnung anlangt, der einfachste Repräsentationswert; die oberflächlichste Ueberlegung zeigt aber, daß es ein sehr unzweckmäßiger Repräsentationswert ist, indem ein einziger extremer Wert, wie er z. B. durch eine momentane Unaufmerksamkeit zustande kommt, einen unverhältnismäßig starken Einfluß auf das arithmetische Mittel hat. Man muß sich also nach anderen Repräsentationswerten umsehen. So liefert z. B. der sogenannte dichteste Wert, ferner der Zentralwert viel brauchbarere Repräsentationswerte. Damit ist aber allenthalben schon die mathematische Rechnung, und zwar speziell die Wahrscheinlichkeits- und Fehlerrechnung eingeführt. Die Streuung der Einzelwerte um den Repräsentationswert folgt gleichfalls einem bestimmten Gesetz bezw. ist durch eine bestimmte Größe auszudrücken; auch hierfür ist die Hilfe der Mathematik unentbehrlich. Es ist kein Zufall, daß schon Fechner und ebenso sein bedeutendster Nachfolger auf dem Gebiete der Empfindungslehre G. E. Müller ihre wichtigsten Versuchsergebnisse mathematisch formulierten.

Ein zweites Anwendungsgebiet der Mathematik ergibt sich aus der Tatsache, daß die psychischen Prozesse die Eigenschaft der Intensität haben. Es läßt sich schlechterdings nicht absehen, warum nicht auch diese Intensität irgendwie meßbar und damit einer mathematischen Behandlung zugänglich sein sollte. Sobald mir z. B. 3 Empfindungen a, b und c von verschiedener Helligkeit gegeben sind, so besteht prinzipiell, wie dies namentlich Ebbinghaus einleuchtend nachgewiesen hat, keine Schwierigkeit, die Helligkeitsdifferenz von a und b mit der Helligkeitsdifferenz von b und c zu vergleichen und zwar auch ganz unabhängig von den Intensitätsgrößen der zugehörigen Reize, die sich noch dazu ganz anders verhalten (Webersches Gesetz). Da ich nun weiter c ohne Schwierigkeit im Versuch so abstufen kann, daß die Empfindungsdistanz a b gleich groß wird bezw. erscheint wie die Empfindungsdistanz b c, so steht also nichts im Wege, auch eine Skala der Empfindungsintensitäten herzustellen. Damit sind aber alle Vorbedingungen des Messens erfüllt, und mit dem Messen ist die Anwendbarkeit der Mathematik in bejahendem Sinne entschieden. Wir sind also in der Tat imstande, z. B. mathematische Beziehungen zwischen den Reizstärken und den Empfindungsintensitäten herzustellen. Dieselbe Erwägung läßt sich auch auf andere psychische Größen ausdehnen. Freilich darf nicht verschwiegen werden, daß sich dabei praktisch sehr erhebliche Schwierigkeiten ergeben und auch noch manche Deutungen unsicher sind.

7. Verwertung der Hirnphysiologie und Hirnpathologie. Fast ebenso wichtig wie das experimentelle Prinzip ist das oben sogenannte physiologische Prinzip. Nachdem sich in jahrhundertelang schwankendem Kampf schließlich zu Anfang des 19. Jahrhunderts die Lehre von der Beziehung der seelischen Prozesse zu dem Gehirn allgemeine Anerkennung errungen hatte, wurde auch bald die früher nur geahnte spezielle Beziehung der Großhirnrinde zu den seelischen Prozessen festgestellt. Schon Gall hatte — allerdings mit unzureichenden Gründen

Digitized by Google

— gelehrt: „Les circonvolutions (d. h. eben die Großhirnrinde mit ihren Windungen) doivent être reconnues pour les parties où s'exercent les instincts, les sentiments, les penchants, les talents, les qualités affectives en général, les forces morales et intellectuelles". Einwandfrei stellten dasselbe dann Flourens durch physiologische Versuche und Foville und Delaye durch Untersuchungen am Krankenbett und Sektionsbefunde fest.

Für die Psychologie ergab sich hieraus zunächst keinerlei Gewinn. Man dachte sich nämlich nun mehrere Jahrzehnte die Beziehung zwischen Hirnrinde und psychischen Prozessen so, daß die Großhirnrinde in allen ihren Teilen gleichwertig sei, also jeder kleinste Teil der Großhirnrinde gewissermaßen alle psychischen Prozesse leisten könne. Aus allen Sinnesorganen sollten sich die Erregungsströme gleichsam in ein unterschiedsloses großes Meer ergießen. Eine solche Hirnphysiologie, durch die von Anfang an jede der enormen Differenzierung der psychischen Geschehnisse entsprechende anatomische und physiologische Differenzierung ausgeschlossen wurde, konnte der Psychologie keine Dienste leisten.

Dies änderte sich, als diese unitarische Lehre der Lokalisationslehre wich. Pathologie (Broca) und Physiologie (Fritsch und Hitzig) haben zuerst gezeigt, daß die Großhirnrinde in ihren einzelnen Teilen sehr verschiedene Funktionen hat, daß eine motorische Region, eine Sehsphäre, Hörsphäre usf. zu unterscheiden ist. Im letzten Jahrzehnt hat auch die Anatomie durchgreifende und charakteristische Verschiedenheiten des histologischen Aufbaues zwischen diesen einzelnen Rindengebieten nachgewiesen (Ramon y Cajal). Mit dem Sieg der Lokalisationslehre war für die Psychologie in der Hirnphysiologie eine unschätzbare Hilfe erstanden. Die Psychologie konnte sich jetzt bei ihren Untersuchungen vielfach durch die Berücksichtigung der den psychischen Prozessen zugeordneten physiologischen Prozesse leiten lassen. Ein sehr charakteristisches Beispiel ist folgendes. Die zusammengesetzten Vorstellungen (wie Apfel) und unter ihnen namentlich die sogenannten abstrakten Begriffe waren für die vorphysiologische Psychologie einer wissenschaftlichen Behandlung fast ganz unzugänglich. Dies änderte sich, als die Hirnphysiologie auf Grund pathologischer Beobachtungen mit absoluter Sicherheit lehrte, daß jeder zusammengesetzten Vorstellung physiologisch ein Erregungskomplex entspricht, der sich auf alle beteiligten Sinnessphären verteilt. Der Apfel löst eine Berührungs-, Gesichts- und Geschmacksempfindung aus, und dementsprechend treten Erregungen in der Fühl-, Seh- und Schmecksphäre auf; von diesen Erregungen in 3 räumlich weit getrennten, aber durch Assoziationsfasern verbundenen Rindenbezirken bleiben Erregungsspuren zurück, und dem Komplex dieser Erregungsspuren entspricht die zusammengesetzte Vorstellung Apfel. Damit war an sich natürlich noch keine psychologische Erkenntnis gewonnen, aber für letztere war eine bestimmte Richtung gewiesen. An Stelle der mystischen Einheit der Begriffe trat ein faßlicher, analysierbarer Komplex. Man kann die tiefgreifende Veränderung unseres ganzen psychologischen Denkens durch diese physio-psychologische Auffassung der Begriffe sich nicht erheblich genug denken. Die Verständnislosigkeit, mit der anfangs die alten vorwiegend logisch geschulten, zum Teil noch in der aristotelischen Logik befangenen Psychologen der neuen Psychologie begegneten, erklärt sich zu einem guten Teil aus dem total anderen Standpunkt in der Auffassung des Begriffes bezw. der zusammengesetzten und allgemeinen Vorstellungen. Dasselbe hat sich in vielen anderen Fragen wiederholt. Vielfach hat die Hirnphysiologie und ihre Helferin, die Hirnpathologie der Psychologie die zweckmäßige Forschungsrichtung angegeben und ihr namentlich die Analyse komplizierter psychischer Gebilde, die, wie oben schon erwähnt, für die Psychologie ganz besonders schwierig ist, erleichtert.

Dabei soll nicht verkannt werden, daß die Lokalisationslehre in der Hirnphysiologie auch manche Auswüchse hervorgebracht hat. Wie viele neuen Lehren, hatte und hat sie ihre Charlatane. Vor der Verwertung solcher physiologischer Arbeiten muß sich die Psychologie selbstverständlich hüten, aber das große physiologische Grundprinzip, durchgängige Beziehung der psychischen Prozesse auf hirnphysiologische wird dadurch in keiner Weise erschüttert.

Außer in der Hirnphysiologie hat die neue Psychologie in der Physiologie der Sinnesorgane eine feste Stütze. Die Beziehung ist hier allerdings eine andere. Die physiologischen Prozesse des Gehirns, speziell der Hirnrinde, sind für den Psychologen wichtig, weil sie gesetzmäßig den psychischen Prozessen entsprechen; die physiologischen Prozesse in den Sinnesorganen haben ihre Bedeutung für die psychologische Forschung darin, daß sie sich zwischen den ursächlichen Reiz und die Empfindung bezw. die dieser entsprechende Hirnrindenerregung als Zwischenprozeß einschieben. Gerade weil die Lehre von den Empfindungen das unentbehrliche Fundament der gesamten Psychologie bildet, ist diese Anknüpfung an die Physiologie der Sinnesorgane von entscheidender Bedeutung. Die große Rolle,

Digitized by Google

welche die Werke von Helmholtz, Hering u. a. in der Geschichte der modernen Psychologie gespielt haben, wird uns von diesem Gesichtspunkt aus verständlich.

Man hat die moderne Psychologie oft physiologische Psychologie genannt, und durch den Titel des Hauptwerks von Wundt ist diese Bezeichnung fast populär geworden. Im Hinblick auf die große Bedeutung des soeben erörterten Prinzips ist sie in der Tat durchaus gerechtfertigt. Es kommt hinzu, daß in diesem Namen auch ein Hinweis auf die Tatsache gegeben ist, daß die moderne Psychologie die physiologischen Methoden, also namentlich das Experiment, in weitestem Umfang anwendet. Also wird die Bezeichnung auch dem anderen Hauptprinzip der Psychologie, dem experimentellen Prinzip, gerecht. Der gleichfalls vielfach gebrauchte Name experimentelle Psychologie erscheint demgegenüber nicht ganz so zweckmäßig, weil er nur auf das experimentelle Prinzip, also nur auf eins der beiden Hauptprinzipien (allerdings das wichtigere) hinweist und weil, wie oben erwähnt, die experimentelle Forschung zwar weitaus die wichtigste, aber doch nicht die einzige Methode der neuen Psychologie ist. Im übrigen wird diese Namenstreitigkeit sehr bald bedeutungslos werden, da voraussichtlich in absehbarer Zeit eine andere als die neue Psychologie nicht mehr existieren und damit jeder Zusatz sich als selbstverständlich erübrigen wird.

8. Individual- und Massenpsychologie. Völkerpsychologie. Wie jeder naturwissenschaftlichen Disziplin ist auch das Ziel der Psychologie die Ermittelung allgemeiner Gesetze. Die Feststellung des psychischen Zustandes und der psychischen Anlage eines einzelnen Individuums oder einer einzelnen Individuengruppe („Masse" im Sinn eines Kollektivbegriffs im Gegensatz zum Allgemeinbegriff) gehört nicht zu ihren eigensten, wesentlichen Aufgaben. Wenn sie solche Feststellungen unter der Bezeichnung „Individual-"[1]) und „Massenpsychologie" übernimmt und Vorschriften für solche Feststellungen entwirft, so wird sie zur angewandten Psychologie; sie tritt damit in den Dienst der Pädagogik, Medizin, Jura usf. Oder auch wird sie geradezu zu einer Teildisziplin einer historischen Wissenschaft, indem sie das individuelle Seelenleben eines bestimmten einzelnen Dichters, Künstlers, einer historischen Person usw. erforscht. Der Wert dieser angewandten Psychologie ist natürlich außerordentlich groß, teils in praktischer Beziehung, teils für andere Wissenschaften. Von rein wissenschaftlichem Standpunkt betrachtet treten aber diese Aufgaben zurück. Ebenso wie z. B. der Chemiker die spezielle Untersuchung und Ausbeutung eines einzelnen Kohlenlagers und die Ermittelung der Methoden für eine solche Untersuchung und Ausbeutung nicht als die unmittelbare, eigenste und wesentliche Aufgabe seiner Wissenschaft betrachten, sondern der Technologie zuweisen wird und ebenso wie er die Erforschung der chemischen Zusammensetzung des Tierkörpers im allgemeinen nur als einen der Physiologie zu leistenden Hilfsdienst betrachtet, ebenso hat die angewandte Psychologie die oben erwähnten Untersuchungen bestimmter Individuen und Individualmassen nur als eine sekundäre Aufgabe zu betrachten. Dabei ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß solche praktische oder im Interesse einer anderen Wissenschaft angestellte Einzeluntersuchungen anregend und befruchtend auf die Psychologie s. str. zurückwirken. Es wird dies ganz ebenso zu erwarten sein wie im Bereich der eigentlichen Naturwissenschaften, woselbst praktische Untersuchungen vielfach den ersten Anstoß zu den größten theoretischen Entdeckungen gegeben haben (Dampfmaschine Ausgangspunkt für die Gedanken von Sadi Carnot und damit die Entdeckung des zweiten Hauptsatzes der modernen Wärmelehre). Und wie gerade auch die ersten Ursprünge der einzelnen Naturwissenschaften solchen praktischen Bedürfnissen zu danken sind (Feldmessung — Geometrie, Alchymie — Chemie usf.), so ist auch der Ursprung der Psychologie nachweislich in dem Bedürfnis anderer Wissenschaften, namentlich der Philosophie, und der Praxis, im Sinne der sogenannten Menschenkenntnis, gelegen.

Eine ganz besondere Stellung nimmt in diesem Zusammenhang die Völkerpsychologie ein. Insofern es sich auch bei dieser um die spezielle Untersuchung einzelner bestimmter Massen handelt, gehört sie ganz der angewandten Psychologie an. Sie dient als solche wesentlich geographisch-historischen Interessen. Damit ist jedoch ihre Bedeutung noch nicht erschöpft. Wie oben unter 4 (S. 1138) bereits auseinandergesetzt worden ist, ist die experimentelle Psychologie in hohem Maß auf die genetische Untersuchungsmethode angewiesen, und diese erheischt auch die Berücksichtigung von Völkern, die auf einem anderen, namentlich tieferen Kulturniveau stehen. Da uns aus früheren Kulturepochen keine Untersuchungen zur Verfügung stehen, so müssen wir statt in der Geschichte uns bei den jetzt noch lebenden kulturell noch tiefer stehenden Völkerschaften das erforderliche Tatsachenmaterial verschaffen. Außerdem ist garnicht abzusehen, weshalb die Psychologie nur eine

[1]) Unter Individualpsychologie hat man übrigens keineswegs stets dasselbe verstanden. Vgl. Wundt, Logik II, S. 168.

Digitized by Google

Psychologie des Europäers des 19. und 20. Jahrhunderts sein sollte. Wie Botanik, Zoologie und Mineralogie die Entwickelung ihrer Wissenschaftsobjekte im Laufe der Jahrhunderte und Jahrtausende und Jahrmillionen in ihren Forschungskreis einbeziehen mußten, wird auch die Psychologie einen solchen historischen Standpunkt nicht entbehren können.

Man hat hin und wieder bezweifelt, ob es überhaupt möglich sein werde, einigermaßen exakte psychologische Untersuchungen bei unzivilisierten Völkern anzustellen. Heute kann an dieser Möglichkeit nicht mehr gezweifelt werden. Erst kürzlich habe ich mich in Gemeinschaft mit Dr. Thurnwald überzeugt, daß selbst unter ungünstigen Umständen — es handelte sich um Samojeden, mit denen sich zu verständigen nur ein sehr wenig sprachbewanderter Dolmetsch zur Verfügung stand — kompliziertere Untersuchungen, wie z. B. Bestimmung von Reaktionszeiten, mit aller Exaktheit ausführbar sind. Es kommt dabei nur auf einige Geduld und einiges Geschick an; außerdem müssen natürlich einzelne Methoden etwas adaptiert werden.

9. Tierpsychologie und Beziehung zur Zoologie. Auch bei den Völkern einer tieferen Kulturstufe Halt zu machen hat die Psychologie keinerlei Veranlassung. Gerade ihr genetisches Prinzip zwingt sie, auch die Tierpsychologie in ihr Bereich zu ziehen. Freilich kann das nicht in dem Sinne geschehen, wie es bis vor kurzem noch meistens üblich war. An Stelle der Jägergeschichten und Anekdoten, welche eigentlich fast das ganze Inventar der meisten älteren Tierpsychologien ausmachten, müssen im wesentlichen experimentelle Untersuchungen treten. Gelegentliche Beobachtungen können zu diesen nur eine Ergänzung und Anregung liefern (vgl. oben). Die Ausführbarkeit solcher Experimente wird z. B. in ausgezeichneter Weise durch die sogenannten Labyrinthversuche von Yerkes u. a. illustriert; dabei wird festgestellt, nach wieviel Fehlversuchen das Tier durch ein Labyrinth d. h. durch verschlungene, zum Teil blind endende Wege regelmäßig auf dem kürzesten Wege zu einer Lockspeise gelangt.

Bei ihren tierpsychologischen Experimentaluntersuchungen muß die Psychologie nur eine sehr wesentliche Vorsicht beobachten. Ueber die psychischen Vorgänge in dem Experiment bei dem Menschen unterrichtet uns direkt die Selbstbeobachtung bezw. auch die sprachliche Mitteilung der Versuchspersonen, die ohne wesentliche Bedenken als Ausdruck der Selbstbeobachtung gelten kann. Diese Selbstbeobachtung ist nun allerdings kein mystischer innerer Sinn, wie er in der älteren Psychologie vielfach spukte und selbst heute noch gelegentlich auftaucht, sondern bedeutet nichts anderes als die Tatsache, daß wir abgelaufene Empfindungs- und Vorstellungsreihen mitsamt ihren Gefühlstönen mit chronologischer Bestimmtheit und in Beziehung auf unsere Person mit einiger Genauigkeit zu reproduzieren vermögen. Deshalb bleibt aber doch Tatsache, daß eine solche Kontrolle im Tierversuch unmöglich ist. Wir sind bei Tieren bezüglich psychischer Vorgänge nur auf Analogieschlüsse angewiesen. Wie unsicher letztere — namentlich bei niederen Tieren — sind, wie schwierig vor allem die Entscheidung ist, ob bei einer bestimmten Reaktion ein nicht von psychischen Vorgängen begleiteter „Reflex“ oder „automatischer Akt“ oder eine von psychischen Vorgängen begleitete „Handlung“ vorliegt, ist bekannt. Im Grunde handelt es sich dabei auch gar nicht um eine naturwissenschaftliche oder psychologische, sondern um eine erkenntnistheoretische Frage, da offenbar auch Zweifel erlaubt sind, ob nicht doch vielleicht auch den Reflexen irgendwelche psychische Prozesse entsprechen könnten. Die Tierpsychologie wird also — trotz ihres Namens — besser daran tun, wenn sie ihre Aufgabe unter Weglassung der Frage des Psychischen folgendermaßen formuliert: welche unmittelbaren motorischen Wirkungen und welche motorischen Nachwirkungen lassen sich bei einem Tier unter dem Einfluß eines bestimmten Reizes oder einer Reizgruppe oder einer Reizreihe und unter dem Einfluß der Wiederholung eines ähnlichen oder unähnlichen Reizes beobachten? Dabei würden die unmittelbaren Wirkungen den durch Empfindungen, soweit psychische Vorgänge in Frage kommen, ausgelösten, die mittelbaren den durch Vorstellungen bezw. Erinnerungsbilder ausgelösten Bewegungen entsprechen. Wie außerordentliche Vorsicht in dieser Beziehung geboten ist, geht aus der von mir kürzlich hervorgehobenen, meines Erachtens fundamentalen Tatsache hervor, daß zuweilen Nadelstiche auf analgetischen Bezirken bei geistig völlig gesunden Personen ausgesprochene mimische Reaktionen hervorrufen, die von denen eines wirklich gefühlten Schmerzes in keiner Weise verschieden sind.

Durch diese Beschränkung wird das Arbeitsgebiet der Tierpsychologie in keiner Weise verkleinert, sie schützt sich nur selbst vor Mißdeutungen. Auch ist diese Beschränkung natürlich nicht so gemeint, daß nun pedantisch alle Ausdrücke für psychische Vorgänge absolut vermieden werden müßten. Wir werden nach wie vor gelegentlich auch einmal von dem Gedächtnis eines Hundes usf. sprechen können, wofern wir nur immer eingedenk bleiben, daß es sich dabei um Analogieschlüsse handelt.

Digitized by Google

10. Allgemeine psychologische Gesetze. Während die alte Psychologie eine ihrer Hauptaufgaben, in der Regel die wichtigste, in dem Nachweis der Seele und ihrer Vermögen, sowie in der Definition der Seele erblickte, ist das Hauptziel der heutigen naturwissenschaftlichen Psychologie, die allgemeinen psychologischen Gesetze festzustellen. Der Weg, den sie dabei nimmt, ist im allgemeinen folgender: Sie sammelt zunächst die psychischen Vorgänge, ordnet und klassifiziert sie dann — eine „Beschreibung" etwa im Sinne der „beschreibenden" Naturwissenschaften ist aus einleuchtenden Gründen nicht möglich — und verfolgt hierauf experimentell den Ablauf der psychischen Vorgänge, um aus ihm allgemeine Gesetze abzuleiten. Daneben wird sie, ähnlich wie die Physik, psychische „Konstanten" zu bestimmen haben, wie z. B. die Grenzwerte der einfachen Reaktionszeit, der Wahlzeit usf. für ein bestimmtes Alter und ein bestimmtes Sinnesgebiet und unter bestimmten Versuchsbedingungen, die Werte der absoluten und relativen Unterschiedsschwelle usw.

11. Hauptrichtungen der heutigen Psychologie. Trotz ihres kurzen Bestehens hat die neue naturwissenschaftliche Psychologie bereits ein sehr großes Material zuverlässiger, größtenteils experimentell festgestellter Tatsachen gesammelt, die allgemeine Anerkennung gefunden haben. In der Deutung und Verwertung mancher Tatsachen jedoch stehen sich noch mehrere Richtungen fast ganz unvermittelt gegenüber. Es hängt dies einerseits mit der Neigung zu spekulativen Rückfällen und der Nachwirkung aus der spekulativen Periode überkommener Begriffe, andererseits mit der außerordentlichen Schwierigkeit der psychologischen Probleme zusammen. Vor allem sind es zwei Hauptrichtungen, welche sich noch schroff gegenüberstehen und welche man gewöhnlich als die intellektualistische und als die voluntaristische bezeichnet. Während nämlich darüber, daß die Empfindungen die Grundlage aller psychischen Vorgänge — wenigstens für die psychologische Betrachtung — bilden, und auch darüber, daß alle Vorstellungen als Erinnerungsbilder oder Komplexe von solchen aufzufassen sind, kaum mehr Zweifel bestehen, gehen die Anschauungen weit auseinander, sobald es sich um diejenigen psychischen Prozesse handelt, die mit diesen Empfindungen und Vorstellungen stattfinden und die wir populär als Aufmerken, Denken, Entschließen, Wollen, Handeln usf. bezeichnen.

Die intellektualistische Psychologie nimmt an, daß durch Verknüpfung oder Assoziation von Vorstellungen mit Empfindungen und Vorstellungen mit Vorstellungen sich auch alle diese psychischen Ablaufprozesse — so kann man sie gegenüber den Elementarprozessen der Empfindung und Vorstellung bezeichnen — in ausreichender Weise erklären lassen und also zu ihrer Erklärung nicht der Einführung eines neuen ganz hypothetischen Elementes oder gar eines neuen ganz hypothetischen Seelenvermögens bedürfen. Man daher hat diese intellektualistische Richtung auch als Assoziationspsychologie bezeichnet, obwohl beide Richtungen sich nicht vollständig decken. Jedenfalls ist die Bezeichnung „intellektualistisch" deshalb ganz unzutreffend, weil sie den Anschein erweckt, als ob die Anhänger der intellektualistischen Richtung die Gefühlsprozesse ignorierten oder ebenfalls aus intellektuellen Vorgängen ableiteten. Das ist in keiner Weise richtig. Die Gefühlsprozesse spielen in der sogenannten intellektualistischen Psychologie ganz dieselbe Rolle wie in der voluntaristischen, eher sogar noch eine größere, insofern aus den Gefühlsprozessen auch die Willensprozesse hergeleitet werden. Allerdings bestreiten die meisten Intellektualisten, daß die Gefühlstöne eine selbständige Existenz neben den Empfindungen und Vorstellungen führen, und behaupten, daß sie nur Eigenschaften der Empfindungen und Vorstellungen sind. Aber damit wird erstens keineswegs der Gefühlston als etwas irgendwie aus dem Inhalt der Empfindungen und Vorstellungen Herleitbares bezeichnet, und zweitens hat die Lehre vom Begleitcharakter der Gefühle auch unter den Voluntaristen zahlreiche Anhänger. Hier liegt also der entscheidende Unterschied der beiden Richtungen nicht. Dieser liegt vielmehr nur darin, daß die intellektualistische Richtung mit den gefühlsbetonten Empfindungen und Vorstellungen sowie ihrer Assoziation ohne andere hypothetische Elemente zum Verständnis der psychischen Vorgänge auszukommen glaubt. Auch wäre es ein völliges Mißverständnis, wenn man der intellektualistischen oder Assoziationspsychologie die Behauptung zuschreiben wollte, daß diese Assoziation sich einfach als eine zeitliche Aufeinanderfolge der Vorstellungen — ohne nähere Verknüpfung — erklären lasse. Kein namhafter Vertreter dieser Richtung hat dies jemals behauptet. Vielmehr, wie der isolierten Erregung der Empfindungszellen (und ebenso der Vorstellungszellen[1])) ein spezifischer in bestimmten Grenzen variabler psychischer Prozeß entspricht, so

---

[1]) Manche Psychologen glauben übrigens, daß diese ganz oder teilweise mit den Empfindungszellen zusammenfallen.

entspricht nach der Auffassung der Assoziationspsychologie auch dem Fortschreiten der Erregung von Zellkomplex zu Zellkomplex auf dem Wege der Assoziationsfasern ein spezifischer psychischer Prozeß, der eben aus der einfachen zeitlichen Aufeinanderfolge eine Verknüpfung macht, deren Prototyp das Urteil ist. Die Hauptsätze der intellektualistischen (assoziierten) Richtung lassen sich also etwa folgendermaßen zusammenfassen:

a) Die Elemente aller psychischen Prozesse sind die Empfindungen und Vorstellungen samt ihren Gefühlstönen;

b) die Verknüpfung oder Assoziation dieser Elemente hat ihre spezifische Form in dem sogenannten Urteil (Urteilsassoziation);

c) alle psychischen Prozesse einschließlich des Wiedererkennens, Aufmerkens, Entschließens (Wollens) lassen sich aus der Urteilsassoziation ableiten und folgen denselben Gesetzen wie diese;

d) die hypothetische Annahme anderer Elemente oder Elementarprozesse (Willensprozesse usf.) ist also überflüssig.

Demgegenüber behauptet die voluntaristische Richtung, daß zur Erklärung der psychischen Prozesse noch ein neuer Elementarprozeß angenommen werden muß. Dieser Elementarprozeß soll der Willensakt sein. In der Auffassung dieses elementaren Willensaktes gehen die Vertreter der voluntaristischen Richtung weit auseinander. Wundt, der wohl in seiner Logik den Ausdruck voluntaristische Psychologie zuerst gebraucht hat, betrachtet das Wollen als den „zentralen Gemütsvorgang" und behauptet, daß man sich nach dem Typus der Willenshandlungen alle psychischen Erlebnisse zu denken hat. Außerdem ist nach ihm die Willenstätigkeit mit der von ihm angenommenen Apperzeption identisch (Apperzeptionspsychologie): die „elementare Form eines Willensvorgangs" ist die „Apperzeption eines psychischen Vorgangs". Andere Voluntaristen haben diese Verbindung mit der Apperzeptionslehre vermieden und nur in dieser oder jener Form behauptet, daß bei der offenbar die Aufmerksamkeit begleitenden Auswahl, bei dem Fortschreiten des Denkens von Vorstellung zu Vorstellung und vor allem bei dem Uebergang von den Vorstellungen zur Handlung ein besonderes Element beteiligt sei, welches einer näheren Definition wie alle anderen psychischen Vorgänge nicht zugänglich ist, aber uns aus unserer Selbstbeobachtung als „Wollen" bekannt und geläufig ist.

Beide Richtungen stehen sich heute noch kämpfend gegenüber. Die intellektualistische Richtung unterliegt leicht der Gefahr, den Vorstellungen „eine objektartige Konstanz" nach Analogie der materiellen Gegenstände zuzuschreiben und sich den Vorstellungsablauf samt der abschließenden Handlung zu einfach im Sinne eines physikalischen Mechanismus zu denken. Allerdings sind dies Fehler, die durchaus nicht ihren Grundgedanken anhaften, sondern sich nur unter dem Einfluß falscher Nebengedanken einstellen. Auch die intellektualistische Richtung faßt alle psychischen Erlebnisse als „fließende Ereignisse" auf, und es kann nicht zugegeben werden, daß diese Auffassung das Vorrecht der voluntaristischen Richtung ist. Die Hauptgefahr für letztere liegt in dem hypothetischen Charakter jenes Willenselements, der leicht zu einem Rückfall in die alte Lehre von den Seelenvermögen und zu einem Verzicht auf fortschreitende Analyse der seelischen Prozesse und auf das Aufsuchen der psychischen Gesetze führt.

Eine absolut entscheidende Experimentaluntersuchung zugunsten der einen oder anderen Auffassung liegt heute noch nicht vor. Jedenfalls ist auch hier die Entscheidung nur von dem Experiment zu erwarten.

12. Beziehung zur Erkenntnistheorie. Bei allen ihren Untersuchungen hat die Psychologie mit erkenntnistheoretischen Problemen nichts zu tun. Sie untersucht die psychischen Vorgänge, und zwar, soweit möglich, in Beziehung auf die entsprechenden gleichzeitigen physiologischen Prozesse des Gehirns, enthält sich dabei aber jedes Urteils über dies Entsprechen. Weder behauptet sie mit dem Materialismus, daß die psychischen Prozesse nur Funktionen der Hirnmaterie seien, noch mit dem Spiritualismus, daß umgekehrt das Materielle eine Funktion des Psychischen sei, noch mit dem psychophysischen Parallelismus, daß die psychischen und die materiellen Prozesse in einem schwer näher zu bezeichnenden Parallelismus einander koordiniert seien, noch endlich mit dem Idealismus, daß überhaupt nur das Psychische gegeben ist. Sie überläßt vielmehr alle diese Untersuchungen der Erkenntnistheorie oder, wenn es eine solche geben sollte, der Metaphysik. Sie kann der Erkenntnistheorie nur das empirische Material liefern, das diese für ihre Untersuchungen braucht. Sie selbst bleibt innerhalb der naturwissenschaftlichen Grenzen.

Literatur. **N. Ach,** *Ueber die Willenstätigkeit und das Denken. Göttingen 1905.* — **Derselbe,** *Ueber den Willensakt und das Temperament. Leipzig 1910.* — **Fr. Ed. Beneke,** *Erfahrungsseelenlehre als Grundlage alles Wissens. Berlin 1820.* — **H. Ebbinghaus,** *Ueber negative Empfindungswerte. Zeitschr. f.*

Digitized by Google

Psych. u. Phys. d. Sinnesorgane Bd. 1, S. 320, 1890. — **G. Th. Fechner,** *Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860.* — **K. Fortlage,** *System der Psychologie als empirischer Wissenschaft aus der Beobachtung des inneren Sinnes. Leipzig 1855.* — **J. F. Herbart,** *Lehrbuch der Psychologie 1816.* — **Derselbe,** *Psychologie als Wissenschaft 1824.* — **Fr. Jodl,** *Lehrbuch der Psychologie. 3. Aufl. Stuttgart-Berlin 1908.* — **O. Külpe,** *Grundriß der Psychologie. Leipzig 1893.* — **Th. Lipps,** *Grundtatsachen des Seelenlebens. Bonn 1883.* — **G. E. Müller,** *Zur Grundlegung der Psychophysik. Berlin 1878.* — **J. Rehmke,** *Lehrbuch der allgemeinen Psychologie. 2. Aufl. Leipzig-Frankfurt a. M. 1905.* — **H. Spencer,** *The principles of psychology. London 1855 (3. Aufl. 1890).* — **W. Volkmann v. Volkmar,** *Grundriß der Psychologie. Halle 1856 und Lehrbuch der Psychologie. Cöthen 1875.* — **J. B. Watson,** *Animal education. Chicago 1903.* — **Ph. Waitz,** *Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft. Braunschweig 1849.* — **E. H. Weber,** *Annotationes anatomicae et physiologicae. Leipzig 1834.* — **Chr. Wolff,** *Psychologia rationalis methodo scientifico pertractata, qua ea, quae de anima humana indubia experientiae fide innotescunt, per essentiam et naturam animae explicantur. Frankfurt 1734 (Psychologia empirica, Frankfurt 1732).* — **W. Wundt,** *Grundzüge der physiologischen Psychologie 1. Aufl., 1874; 5. Aufl., 1903.* — **Derselbe,** *Logik 2. Aufl., Bd. 2 (namentlich S. 164 ff.). Stuttgart 1895.* — **Derselbe,** *Völkerpsychologie. Leipzig 1900 bis 1906.* — **R. M. Yerkes,** *The dancing mouse, a study in animal behavior. New York 1907.* — **Th. Ziehen,** *Leitfaden der physiologischen Psychologie 1. Aufl. Jena 1891; 9. Aufl., 1911.* — **Derselbe,** *Gehirn und Seelenleben 3. Aufl. Leipzig 1912.* — **Derselbe,** *Psychophysiologische Erkenntnistheorie. 2. Aufl. Jena 1907.*

Th. Ziehen.

Psychophysik.

Fundamentale Psychophysik.

1. Definition. 2. Voraussetzungen. 3. Das psychische Maß. 4. Die psychophysischen Maßmethoden. 5. Das psychophysische Grundgesetz. 6. Einwände Wilhelm Webers bezüglich des psychophysischen Grundgesetzes und des psychischen Maßes. 7. Die Anfänge der Psychophysik: a) Beobachtungsfehler. b) Ungenauigkeit der Sinneswahrnehmung. c) Sonstige subjektive Faktoren. 8. Die Bedeutung des Weberschen Gesetzes. 9. Das Untersuchungsgebiet der Psychophysik.

1. Definition. Die Psychophysik ist nach Fechner (Elemente der Psychophysik, 1860, I, S. 8) die exakte Lehre von den funktionellen- oder Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Körper und Seele, allgemeiner zwischen körperlicher und geistiger, physischer und psychischer Welt.

2. Voraussetzungen. Diese Lehre gründet Fechner auf die Unterscheidung von innerer und äußerer Wahrnehmung. Er sagt (a. a. O.): „zum Gebiete des Geistigen, Psychischen, der Seele rechnen wir überhaupt das, was durch innere Wahrnehmung erfaßlich oder daraus abstrahierbar ist, zu dem des Körperlichen, Leiblichen, Physischen, Materiellen das, was durch äußere Wahrnehmung erfaßlich oder daraus abstrahierbar ist“. Hierbei soll es bloß auf die Erscheinungen der körperlichen und geistigen Welt ankommen und auf das aus diesen Erscheinungen Erschließbare, „auf das Physische im Sinne der Physik und Chemie, auf das Psychische im Sinne der Erfahrungsseelenlehre, ohne daß auf das Wesen des Körpers, der Seele hinter der Erscheinungswelt im Sinne der Metaphysik irgendwie zurückgegangen wird“.

Das Physische und das Psychische sind hiernach zwei, schon durch den Wahrnehmungsprozeß getrennte Gebiete, die wechselweise voneinander abhängig sind. Und da die Abhängigkeit nach Fechner überdies durch eine mathematische Funktion darstellbar ist, so ist das Psychische ebenso wie das Physische als eine für sich bestehende Größe oder als ein System solcher Größen zu denken — in der Weise, daß eine Veränderung in dem System der psychischen Größen eine entsprechende Veränderung in dem Systeme der zugehörigen physischen Größen mit sich führt, und umgekehrt. Die psychischen Größen liegen den inneren Wahrnehmungen, die physischen Größen den äußeren Wahrnehmungen zugrunde: die einen und die anderen werden wahrgenommen und auf Grund der Wahrnehmungen bestimmt.

Wir gelangen so zu folgender Vorstellung von dem theoretischen Aufbau der Psychophysik Fechners. An sich unbewußte, aber das Bewußtsein tragende und in den sogenannten inneren Wahrnehmungen unmittelbar erfaßbare psychische Größen sind durch das psychophysische Grundgesetz an physische Größen gebunden, die zunächst in den Erregungen des Nervensystems unvermittelt zu den psychischen Größen in Beziehung treten und so die „innere Psychophysik“ begründen, die aber sodann, vermittelt durch die Erregungszustände der Sinnesorgane, mit den Größen in Zusammenhang treten, die der äußeren Wahrnehmung zugänglich sind und in ihrer, durch die Nervenerregungen vermittelten Abhängigkeit von den psychischen Größen den Gegenstand der „äußeren Psychophysik“ bilden.

„Die grundlegenden Erfahrungen für die ganze Psychophysik“, sagt Fechner, „können nur im Gebiete der äußeren Psychophysik gesucht werden, sofern nur diese der unmittelbaren Erfahrung zugänglich ist, und der Aus-

gang ist daher von der äußeren Psychophysik zu nehmen; doch kann sich diese nicht ohne Mitrücksicht auf die innere entwickeln, in Betracht dessen, daß die körperliche Außenwelt nur durch Zwischenwirkung der körperlichen Innenwelt mit der Seele funktionsweise verknüpft ist."

Man könnte versucht sein, die psychischen Größen und die ihnen unmittelbar zugehörigen physischen Größen einander äquivalent anzunehmen, so daß mit dem Verschwinden von Größen der einen Art das Hervortreten von Größen der anderen Art verbunden wäre. Der Annahme einer solchen Aequivalenz widerspricht jedoch die von Fechner in den Vordergrund gestellte Ansicht, daß Physisches und Psychisches die äußere und die innere Erscheinung eines und desselben Grundwesens seien. Der Veranschaulichung, die Leibniz gibt, indem er Physisches und Psychisches mit zwei Uhren vergleicht, die ihren übereinstimmenden Gang entweder einer wechselweisen Einwirkung (im Sinne des Dualismus) oder einer beständigen Regulierung der Zeigerstellung (im Sinne des Occasionalismus) oder ihrer ursprünglichen Konstruktion (im Sinne der prästabilierten Harmonie) verdanken, stellt er die Ansicht gegenüber, daß es sich gar nicht um zwei verschiedene Uhren handle, sondern um eine und dieselbe Uhr, die ihren durch das Räderwerk vermittelten und äußerlich in der Zeigerstellung hervortretenden Gang zugleich innerlich empfindet. „Was dem äußerlich stehenden Beobachter als die organische Uhr mit einem Triebwerk und Gange organischer Räder und Hebel oder als ihr wichtigster und wesentlichster Teil erscheint, erscheint ihr selbst innerlich ganz anders, als ihr eigener Geist mit dem Gange von Empfindungen, Trieben und Gedanken" (Elemente der Psychophysik I, S. 5). Es haben demnach die physischen und die psychischen Größen, sofern sie unmittelbar miteinander zusammenhängen, als ein und dasselbe zu gelten. Dies könnte nun zwar gerade die Annahme einer Aequivalenz veranlassen. So gelten ja auch Bewegungsenergie und die aus ihr hervorgehende Wärme als dasselbe Quantum Energie, das nur in verschiedener Form sich darbietet. Aber dann müßten die psychischen Größen verschwinden, um als äquivalente, physische Größen wieder zutage zu treten, und umgekehrt. Es sind jedoch die psychischen Größen zugleich mit den physischen vorhanden und ihre gleichzeitig eintretenden, einander zugeordneten Aenderungen verlaufen in demselben Sinne. Die psychischen und physischen Größen sind daher nicht einander äquivalent. Es besteht überhaupt keine Abhängigkeit zwischen den beiden Arten von Größen in der Weise, daß die einen nicht ohne die anderen bestehen könnten. Denn der Zusammenhang der physischen Größen untereinander wird durch das gleichzeitige Bestehen der psychischen Größen in keiner Weise beeinflußt, und die psychischen Größen sind ihrerseits unabhängig von den physischen Größen. Daß psychische und physische Größen gleichzeitig bestehen und auf Grund ihres Zusammenbestehens, als Daseinsweisen derselben Wirklichkeit, einander entsprechen, hat mit dem gesetzlichen Zusammenhang innerhalb des einen oder des anderen Größengebietes nichts zu tun. Der einzige Zusammenhang zwischen den physischen und psychischen Größen ist das zeitliche Zusammenbestehen. Infolge davon haben das Physische und Psychische als Daseinsweisen derselben Wirklichkeit zu gelten.

Nun kann allerdings ein solches unmittelbares Zusammenbestehen, ohne kausale Abhängigkeit, wie es die Psychophysik voraussetzt, auch in gesetzmäßiger, durch eine mathematische Funktion darstellbare Weise gedacht werden. Ja, Fechner scheint gerade aus diesem Zusammenbestehen auf das Vorhandensein einer mathematischen Funktionsbeziehung zu schließen. Er sagt (Elemente der Psychophysik II; S. 551): „Von jeher der Ansicht von einem durchgreifenden Zusammenhang zwischen Leib und Seele zugetan und diesen in Form einer doppelten Erscheinungsweise desselben Grundwesens vorstellend ... stellte sich mir im Laufe der Abfassung einer Schrift (Zend—Avesta), welche auf dieser Ansicht fußt, die Aufgabe dar, ein funktionelles Verhältnis zwischen beiden Erscheinungsweisen zu finden."

Wir müssen uns aber darüber klar werden, daß nur die tatsächliche Erforschung des Psychischen einerseits und des Physischen andererseits uns über die psychischen und die physischen Größen und ihren, durch ihr zeitliches Zusammenbestehen bedingten Zusammenhang belehren kann. Und wir müssen überdies das Zugeständnis machen, daß wir uns hierbei (eben infolge des unmittelbaren Zusammenbestehens des Physischen und Psychischen) auf die Größen der einen oder der anderen Art beschränken können; daß also keine Nötigung vorliegt, neben den einen Größen auch die anderen zugrunde zu legen. Nur beiläufig, aus Gründen der Zweckmäßigkeit, können die Größen der anderen Art neben den zugrunde gelegten Größen Berücksichtigung erlangen. Sollten aber die Größen der einen oder der anderen Art bloß hypothetisch einführbar sein, ohne als unmittelbares Forschungsergebnis sich darzubieten, so dürfte ihre Einführung als überflüssig angesehen werden.

Nun sind in der Tat die psychischen Größen zwar denkbar, aber nicht als For-

Digitized by Google

schungsergebnis nachweisbar, während die physischen Größen in den Bestimmungen der Größe und Gestalt, der Lage und Bewegung der Raumkörper unaufhebbar vorliegen. Die Psychophysik hat daher von den physischen Größen auszugehen. Sie ist zunächst äußere Psychophysik. Sie kann sodann im Sinne Fechners diejenigen physischen Größen hinzunehmen, die den hypothetischen psychischen Größen unvermittelt zur Seite stehen, oder aber auch unter Verzicht auf die psychischen Größen bloß die physischen Größen in Betracht ziehen. Die physischen Erregungszustände, die dem Psychischen zugrunde liegen, nennt Fechner die psychophysische Bewegung: „Frage nach der Natur der psychophysischen Bewegung" (Elemente der Psychophysik II, S. 543).

Mit dem Verzicht auf die Annahme der psychischen Größen fällt das psychophysische Grundgesetz und das psychische Maß in der von Fechner gegebenen Fassung. Das psychophysische Forschungsgebiet selbst hingegen bleibt in vollem Umfange bestehen. Es wird dann nur auch die sogenannte innere Wahrnehmung statt auf die ihr zugrunde liegenden psychischen Größen auf die mit diesen hypothetischen Größen durch das vorausgesetzte psychophysische Grundgesetz unmittelbar verbunden zu denkenden physischen Größen gegründet.

3. Das psychische Maß. Die Annahme psychischer Größen hielt Fechner für unerläßlich, da er von der Notwendigkeit der Einführung eines psychischen Maßes überzeugt war. Er empfindet es (Fechner-Archiv, Nr. 86, 87) als einen Mangel, daß in Herbarts mathematischer Psychologie „kein Prinzip, ja keine Andeutung dazu" vorliegt und stellt, um diesem Mangel abzuhelfen, folgendes Prinzip auf: „Setzen wir voraus, daß alle unsere idealen, geistigen, psychischen Prozesse (was ich aus allgemeinsten Gesichtspunkten nicht scheide) mit leiblichen, physischen, materiellen wechselbedingt oder wechselbezogen sind, oder, wie man sich auch wohl ausdrückt, ihren Ausdruck, Träger, Sitz darin finden, so wird es hinreichen, die mathematische Behandlung auf das Physische erstrecken zu können, um das Geistige, Psychische in der Weise mit zu treffen, wie es überhaupt von einer mathematischen Behandlung getroffen zu werden vermag." Hierbei ist das unmittelbare Zusammenbestehen des Physischen und Psychischen vorauszusetzen. „Der Gedanke kann nicht Ursache der Bewegungen sein, mit denen er entsteht und vergeht, noch die Bewegungen Ursache des zugehörigen Gedankens, insoweit man unter Ursache eine vorausgehende Bedingung versteht. Und so würde auch aus aller Materie und aller Bewegung nie irgend etwas Psychisches resultieren können, sofern nicht mit der Materie und Bewegung schon voraus etwas Psychisches gegeben wäre." „Der geistige und der materielle Prozeß gehen beide miteinander, aber nicht einer vor dem anderen, bis zum Anfange der Welt zurück."

Indem Fechner sein „neues Prinzip mathematischer Psychologie" aufstellt, ist er sich bewußt, über die Tatsachen des Bewußtseins hinauszugehen, indem „nicht die Bewußtseinsphänomene, um die es sich in der Psychologie doch handelt und die der Beobachtung unmittelbar zugänglich sind, ins Auge gefaßt werden, sondern eine Beigabe zu jenen Phänomenen, nämlich die der Beobachtung unzugänglichen und überdies hypothetischen Bewegungen, die mit unseren Gedanken mitgehen". Er vergleicht dies mit den, ebenfalls nicht unmittelbar wahrnehmbaren Schwingungen und Schwingungsverhältnissen, auf die sich die physikalische Untersuchung der Töne und Farben bezieht. Es treten nur für die psychologische Untersuchung die unmittelbaren Träger der seelischen Empfindungen an Stelle der jene Empfindungen äußerlich verursachenden Bewegungen, welche die Physik betrachtet, so daß die „psychologische Naturlehre eine Ergänzung der gewöhnlichen bildet". Und er findet schließlich, daß sein Prinzip nur die „zerstreut und zerstückelt ohnehin sich allenthalben geltend machende Weise, ja aufdringliche Neigung, geistige Verhältnisse höherer Art durch Bilder zu bezeichnen und zu erläutern, welche sich auf äußerlich oder sinnlich Wahrnehmbares beziehen oder von solchen entlehnt sind," zur konsequenten Darstellung bringt.

Fechner stützt somit prinzipiell das Psychische auf das Physische und hält sich für berechtigt, auch das Psychische, durch Vermittlung des Physischen, als eine meßbare Größe anzusehen. Um nun zu einem Maße des Psychischen zu gelangen, geht er von dem Zusammenbestehen des Reizes und der Empfindung aus und definiert zunächst die Empfindlichkeit für Reize und für Reizunterschiede.

Er setzt (Elemente der Psychophysik I, S. 46) „die Empfindlichkeit für Reize der Größe der Reize, die eine gleich starke, oder allgemeiner, um extensive Empfindungen mit zu begreifen, eine gleich große Empfindung erwecken, umgekehrt proportional, mit einem kurzen Ausdrucke reziprok". Und er bezeichnet es als eine Sache der Definition, „daß wir die Empfindlichkeit gerade doppelt so groß nennen, wenn der halbe Reiz dieselbe Empfindung erweckt". „Wäre die Empfindlichkeit etwas an sich Meßbares, so stände diese Freiheit nicht offen, sondern das Verhältnis müßte durch Erfahrung oder Schlüsse konstatiert werden. Dies ist aber nicht der Fall;

Digitized by Google

die Erklärung darüber ist willkürlich, und die einfachst mögliche und welche die einfachste Verwendung gestattet, vorzuziehen."

In entsprechender Weise definiert er die Empfindlichkeit für Reizunterschiede, indem er die Unterschiedsempfindlichkeit ihrem absoluten Betrage nach durch den reziproken Wert des absoluten Unterschieds und ihrem relativen Betrage nach durch den reziproken Wert des Verhältnisses der zugehörigen Reizgrößen mißt. Denn „sowie ein gleich großer, doppelt oder dreimal so großer Reiz erfordert werden kann, um eine gleich große Empfindung zu erwecken, kann auch eine gleiche, doppelt oder dreimal so große Abänderung eines Reizes oder ein gleicher, doppelt oder dreimal so großer Unterschied zweier Reize erfordert werden, um einen gleich großen Unterschied zweier Empfindungen zu erwecken" (a. a. O. S. 47).

Das Maß der Empfindlichkeit ist jedoch noch kein Maß der Empfindung. Es liegen zwar der Empfindung, der Annahme nach, meßbare Größen zugrunde. Es muß aber auch in dem, was tatsächlich erlebt wird, ein Hinweis auf die zugrunde liegenden Maßgrößen vorhanden sein. Diesen Hinweis glaubt Fechner in der Intensität der Empfindung zu finden, die im Bewußtsein hervortritt und erfaßt wird. Und dieses Merkmal findet sich überall im Gebiete der Bewußtseinserscheinungen. „Denn nicht nur läßt sich von einer größeren und geringeren Stärke von Empfindungen sprechen, es gibt auch eine verschiedene Stärke von Trieben, es gibt größere und geringere Grade der Aufmerksamkeit, der Lebhaftigkeit von Erinnerungs- und Phantasiebildern, der Helligkeit des Bewußtseins im ganzen, wie der Intensität einzelner Gedanken. Im schlafenden Menschen ist das Bewußtsein überhaupt erloschen, im tief Nachdenkenden zur höchsten Intensität gesteigert; und in der allgemeinen Helligkeit steigen und sinken wieder einzelne Vorstellungen und Gedanken. Somit unterliegt das höhere Geistige nicht minder als das Sinnliche, die Tätigkeit des Geistes im ganzen nicht minder als im einzelnen quantitativer Bestimmung." Daran schließt Fechner allerdings das Zugeständnis, daß wir „zunächst und unmittelbar" nur „ein Mehr oder Weniger oder ein Gleich in allen diesen Beziehungen" feststellen können, nicht „ein Wievielmal, was zu einem wahren Maße erfordert wird". Da jedoch das Psychische mit dem Physischen in unvermitteltem, gesetzlich bestimmbarem Zusammenhang steht, so kann das Physische als Maßstab dienen.

„So wie wir, um den Raum zu messen, der Materie der Elle bedürfen, welche in den Raum gefaßt ist, werden wir, um das Psychische zu messen, des Physischen bedürfen, was demselben unterliegt; sofern wir aber das, was ihm unmittelbar unterliegt, die psychophysische Tätigkeit, nicht unmittelbar beobachten können, wird der Reiz, durch welchen sie erregt wird, mit dem sie gesetzlich wächst und abnimmt, die Stelle der Elle in der äußeren Psychophysik vertreten können, von wo aus wir hoffen dürfen, auch zur Erlangung der inneren Elle in der inneren Psychophysik zu gelangen."

Es bedarf daher bloß des Erfassens gleichartiger Abstufungen der psychischen Intensität, damit die ihnen zugrunde liegenden Veränderungen der psychischen Größen einander gleichgesetzt und als Einheiten in Anspruch genommen werden können. Jeder Einheit entspricht alsdann auf Grund des funktionellen Zusammenhangs zwischen Physischem und Psychischem eine meßbare Veränderung in der Außenwelt.

Unter Beschränkung auf den Zusammenhang zwischen Reiz und Empfindung, der die Beziehung zwischen Physischem und Psychischem in der einfachsten Weise vor Augen stellt, sagt demgemäß Fechner (Elemente der Psychophysik I, S. 60): „Prinzipiell also wird unser Maß der Empfindung darauf hinauskommen, jede Empfindung in gleiche Abteilungen, d. s. die gleichen Inkremente, aus denen sie vom Nullzustande an erwächst, zu zerlegen, und die Zahl dieser gleichen Abteilungen als wie durch die Zolle eines Maßstabs durch die Zahl der zugehörigen variablen Reizzuwüchse bestimmt zu denken, welche die gleichen Empfindungszuwüchse hervorzubringen imstande sind."

Zur Definition der psychischen Einheit kann jeder genau erfaßbare und im ganzen Gebiete des Psychischen immer wieder bestimmbare Unterschied dienen, wenn er in angebbarer Abhängigkeit vom Physischen steht. Der ebenmerkliche Unterschied scheint sich hierzu besonders zu eignen.

4. Die psychophysischen Maßmethoden. Um die Reizzuwüchse zu bestimmen, denen gleich merkliche Unterschiede der Empfindung zugehören, stellt Fechner folgende drei Maßmethoden zur Ermittlung der Unterschiedsempfindlichkeit für Reizgrößen auf:

1. die Methode der eben merklichen Unterschiede,
2. die Methode der richtigen und falschen Fälle,
3. die Methode der mittleren Fehler.

Er erläutert sie an der Aufgabe, die Feinheit im Erkennen von Gewichtsunterschieden zu untersuchen, mit folgenden Worten (Elemente der Psychophysik I, S. 71):

„Um die Methode der eben merklichen Unterschiede auf unsere Aufgabe

Digitized by Google

anzuwenden, hebe man zwei durch Belastung mit einem gegebenen Gewicht auf ein etwas verschiedenes Totalgewicht gebrachte Gefäße A, B vergleichungsweise auf. Ist der Unterschied der Gewichte groß genug, so wird man ihn spüren, widrigenfalls nicht merklich finden. Die Methode der eben merklichen Unterschiede besteht nun darin, die Größe des Gewichtsunterschieds zu bestimmen, welche nötig ist, um als eben merklich erkannt zu werden. Die Größe der Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede gilt der Größe des so gefundenen Unterschieds reziprok."

„Nimmt man den Gewichtsunterschied sehr klein, so wird man sich bei öfterer Wiederholung der Versuche manchmal über die Richtung des Unterschieds täuschen, indem man das in Wirklichkeit zu leichte Gefäß für das schwerere nimmt und umgekehrt; je größer aber das Uebergewicht oder die Empfindlichkeit, desto größer wird die Zahl der richtigen zur Zahl der falschen oder zur Totalzahl der Urteilsfälle sein. Die Methode der richtigen und falschen Fälle besteht nun darin, die Größe des Uebergewichts zu bestimmen, die unter den verschiedenen Verhältnissen, unter welchen die Empfindlichkeit verglichen werden soll, erfordert wird, dasselbe Verhältnis richtiger und falscher Fälle oder richtiger Fälle zur Totalzahl der Fälle zu erzeugen. Die Größe der Empfindlichkeit unter diesen verschiedenen Verhältnissen wird der Größe dieses Uebergewichts reziprok gesetzt."

„Hat man sich bloß das Gewicht des einen Gefäßes als Normalgewicht mittels der Wage gegeben, so kann man versuchen, das andere, das Fehlgewicht, nach dem bloßen Urteil der Empfindung jenem gleich zu machen. Hierbei wird man im allgemeinen einen gewissen Irrtum, Fehler begehen, den man findet, wenn man das zweite Gefäß, nachdem man es dem ersten als gleich taxiert, nachwiegt. Wiederholt man den Versuch oft, so wird man viele Fehler erhalten, aus denen man durch Mittelziehung einen mittleren Fehler gewinnen kann. Die Empfindlichkeit für Gewichtsunterschiede wird der Größe des mittleren Fehlers, den man so erhält, reziprok zu setzen sein. Dies ist die Methode der mittleren Fehler.

5. Das psychophysische Grundgesetz. Es fragt sich nun, wie die mittels der Maßmethoden feststellbaren Intensitätsstufen zunächst mit den zugrunde liegenden psychischen Größen, sodann mit den physischen Größen, die in den Erregungen des zentralen Nervensystems den psychischen Größen unvermittelt zur Seite treten, und weiterhin mit den Veränderungen in der Außenwelt, die mit den Erregungen des Nervensystems zusammenhängen, verknüpft sind:

Von vornherein ist es möglich, an jeder Stelle, sowohl beim Uebergang von den äußeren zu den inneren körperlichen Vorgängen, wie auch beim Weiterschreiten zu den psychischen Größen und zu den im Bewußtsein hervortretenden Intensitätsstufen eine gesetzmäßige Beziehung vorauszusetzen, in der Weise, daß schließlich der allein der empirischen Feststellung zugängliche Zusammenhang zwischen den im Bewußtsein erfaßbaren Abstufungen und den meßbaren Vorgängen der Außenwelt sich ergibt und seine Erklärung findet. Fechner richtet indessen sein Augenmerk vor allem auf die Beziehung zwischen den unvermittelt zusammen bestehenden physischen und psychischen Größen der inneren Psychophysik. Diese Beziehung lag seinen von naturphilosophischen Ideen getragenen Spekulationen über den Zusammenhang von Leib und Seele am nächsten.

Die Abhängigkeit von naturphilosophischen Ideen zeigt sich insbesondere darin, daß Fechner die gesetzmäßige Form jener Beziehung anfänglich nicht aus der Beobachtung des Zusammenhangs zwischen den Unterscheidungen des Bewußtseins und den zugehörigen Vorgängen der Außenwelt an der Hand der Erfahrung ableitet, sondern auf Grund allgemeiner Erwägungen zu bestimmen sucht. Er sagt (Elemente der Psychophysik II, S. 553): „Zunächst die Aufmerksamkeit auf die quantitativen Verhältnisse richtend, sofern auch die Physik alle Qualitäten von quantitativen Verhältnissen abhängig macht, und ohne noch eine klare Vorstellung vom Maße psychischer Größen zu haben, dachte ich zuerst daran, die Intensität der geistigen Tätigkeit könne wohl der Aenderung der Stärke der ihr unterliegenden körperlichen Tätigkeit, die ich durch ihre lebendige Kraft als gemessen ansah, proportional gehen.... Später kam ich darauf, gewisse Grundverhältnisse zwischen Leib und Seele und zwischen niederem und höherem Geistigem durch das Verhältnis zwischen arithmetischen Reihen niederer und höherer Ordnung schematisch zu erläutern...., zu demselben Zwecke boten sich, in mancher Beziehung noch passender, geometrische Reihen dar." So sah Fechner schließlich durch das Schema der geometrischen Reihen sich dazu geführt, den verhältnismäßigen Zuwachs der körperlichen lebendigen Kraft dem direkten Zuwachs der geistigen Intensität proportional zu setzen, so daß

$$dy = c \cdot \frac{dx}{x}$$

wenn y die geistige Intensität, x die zugehörige körperliche lebendige Kraft und c eine Konstante bedeutet. Hieraus ergab sich das

psychophysische Grundgesetz in der Form

$$y = c . \log x,$$

wonach die geistige Intensität dem Logarithmus der zugehörigen körperlichen lebendigen Kraft proportional ist.

Sind nun y_1, x_1 und y_2, x_2 zwei Paare zusammengehöriger Größen, so ist demnach

$$y_1 = c . \log x_1 ; \; y_2 = c . \log x_2$$

oder

$$y_2 - y_1 = c . \log \frac{x_2}{x_1}$$

Ist überdies die Differenz $y_2 - y_1$ hinreichend klein, so ist auch $x_2 : x_1$ nahezu gleich 1. Setzt man demgemäß

$$\frac{x_2}{x_1} = 1 + \delta$$

$$\log(1 + \delta) = \delta - \tfrac{1}{2}\delta^2 + \tfrac{1}{3}\delta^3 \ldots$$

so können für hinreichend kleine Werte δ die Potenzen zweiter und höherer Ordnung vernachlässigt werden, so daß

$$\log(1 + \delta) = \delta$$

und

$$y_2 - y_1 = c . \delta$$

oder, da $\delta = (x_2 - x_1) : x_1$,

$$y_2 - y_1 = c \frac{x_2 - x_1}{x_1}$$

Es müssen daher beliebige Unterschiede der geistigen Intensität den Logarithmen der Verhältnisse aus der zugehörigen körperlichen lebendigen Kraft, und hinreichend kleine Unterschiede der geistigen Intensität den relativen Unterschieden der zugehörigen körperlichen lebendigen Kraft proportional sein.

6. Einwände Wilhelm Webers bezüglich des psychophysischen Grundgesetzes und des psychischen Maßes. Eine erste Bestätigung der aufgestellten Formeln über den Zusammenhang des Physischen und Psychischen sah Fechner darin, „daß die Verstärkung der Lichtempfindung nach alltäglicher Erfahrung hinter der Verstärkung des physischen Lichtreizes zurückbleibt und überhaupt gegebene Zuwüchse zu Reizen um so schwächer empfunden werden, zu je stärkeren Reizen sie entstehen.“ Da er jedoch noch nicht alle Schwierigkeiten beseitigt fand, teilte er seine Idee Wilhelm Weber mit, der hierdurch zu folgenden Einwänden veranlaßt wurde („Zwei Briefe von Wilhelm Weber an G. Th. Fechner über das psychische Maß“): „Es gibt einige Empfindungen, deren Intensität wir nach Graden unterscheiden, z. B. die Lichtempfindungen von den Sternen 1., 2., 3. Größe. Es gibt andere Empfindungen, wo solche Unterscheidungen nicht versucht worden sind. Bei jenen hat sich ergeben, daß die Zahlen, welche zur Zählung der Grade gebraucht werden, in arithmetischer Reihe wachsen oder abnehmen, wenn die lebendigen Kräfte der Körper, von welchen jene Empfindungen erregt werden, in geometrischer Reihe wachsen. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, durch Messung lebendiger Kräfte, z. B. durch photometrische Messungen die Nummern der Sternklassen zu bestimmen, zu welchen einzelne Sterne gehören. Durch diese Nummern wird aber weder die Lichtintensität eines Sternes noch der Unterschied der Lichtintensität zweier Sterne als (mathematische) Größe bestimmt. Jene Nummer n mag eine Funktion anderer mathematischer Größen ... sein, aber die Intensität, welche nur gradweise Unterscheidung zuläßt, kann nicht zu einer Funktion mathematischer Größen gemacht werden. Jene Nummern sind nur Bezeichnungen, aber keine Bestimmungen (Definitionen) verschiedener Intensitäten. Der Uebergang von den Gradnummern zu den Graden selbst liegt außer dem Bereiche mathematischer Betrachtung.“ Nun könnte es allerdings, wie W. Weber weiterhin bemerkt, für zulässig gehalten werden, „die Hypothese zu machen, daß die Lichtintensitäten Größen und jenen Nummern proportional seien.“ Dann würde er jedoch einwenden, „daß von keinem Dinge gesagt werden kann, es sei eine Größe, sondern nur, es könne als Größe gedacht werden (wobei aber die Art, wie es als Größe gedacht werde, d. i. wie es gemessen werden könne, gegeben sein und alle Operationen, Addition, Subtraktion, ... durch die Messung Sinn erhalten müssen). Aber nicht die Hypothese der Möglichkeit, daß etwas als Größe gedacht werden könne, sondern nur die Hypothese der Wirklichkeit, daß etwas als Größe gedacht werde (mit deutlicher Angabe der Art und Weise) kann an die Spitze einer Theorie gestellt werden, wenn die Theorie zu Resultaten führen soll, die nicht an Möglichkeiten, sondern an Wirklichkeiten geprüft werden sollen.“ Demgemäß erblickt W. Weber die richtige Fassung des von Fechner entwickelten hypothetischen Grundgesetzes in der Aussage, „daß die Verhältnisse der lebendigen Kräfte den Zahlendifferenzen der Nummern der Intensitätsgrade, welche in der Empfindung unterschieden werden, proportional seien.“

„Wollte man weiter gehen,“ so fährt er fort, „so könnte man annehmen, daß jede Empfindung an eine geistige Bewegung gebunden sei; nur würde ich nicht glauben, daß man die Empfindung mit dieser geistigen Bewegung identifizieren dürfe, weil die Empfindung durch das Bewußtsein gegeben ist und in diesem Bewußtsein eine solche Bewegung nicht enthalten ist, wenigstens wenn Bewegung in ihrer gewöhnlichen Beziehung

Digitized by Google

zu Raum- und Zeitverhältnissen verstanden wird, was notwendig ist, wenn sie als mathematische Größe oder als Funktion mathematischer Größen gedacht werden soll. Unter Annahme einer wirklichen geistigen Bewegung, welche aller Empfindung zugrunde liegt, dürfte sich nun ferner auch wohl von einer geistigen lebendigen Kraft sprechen lassen, im Gegensatz zur physischen lebendigen Kraft, und annehmen lassen, daß dieselbe nicht der letzteren selbst, sondern deren Logarithmus proportional sei, d. h. daß die geistige lebendige Kraft mit den Nummern der Intensitätsgrade proportional sei, welche in der Empfindung unterschieden werden. Will man also im allgemeinen von geistiger Intensität als mathematischer Größe oder als Funktion mathematischer Größen sprechen, so muß man, wie es mir scheint, diese geistige Intensität von derjenigen unterscheiden, welche durch das Bewußtsein selbst in der Empfindung gegeben ist, und muß sie hypothetisch hinstellen, wie es der Fall ist, wenn man sie als eine in Raum und Zeit darstellbare Bewegung denkt. Es fragt sich nur, ob durch diese neue Hypothese etwas Wesentliches gewonnen wird, was nicht auch schon durch die gegebenen Relation der physischen lebendigen Kräfte mit den Nummern der Empfindungsgrade erreicht werden kann."

Demgegenüber glaubte Fechner an der Annahme psychischer Größen und meßbarer, durch das psychophysische Grundgesetz gestützter Beziehungen zu den Größen der physischen Welt festhalten zu sollen. Er hielt die Möglichkeit, gleichartige Abstufungen innerhalb der Reihen zusammengehöriger Empfindungen festzustellen, für einen hinreichenden Nachweis gleicher Inkremente der von ihm zugrunde gelegten psychischen Größen. Er sah in jeder empirisch nachweisbaren Abhängigkeit der Empfindungsgrade von den zugehörigen physischen Vorgängen der Außenwelt eine Bestätigung dafür, daß es einen mathematisch darstellbaren Zusammenhang der physischen und psychischen Größen gibt, eben weil er die Empfindungsgrad mit den Maßwerten der psychischen Größen, die er den Empfindungen zugrunde legte, identifizierte.

7. Die Anfänge der Psychophysik. Indem Fechner nach solchen Bestätigungen suchte, wurde er auf die Anfänge der Psychophysik aufmerksam, die bereits im Bereiche der naturwissenschaftlichen Forschung vorlagen.

Diese Anfänge der Psychophysik stellen sich als ein Ergebnis der naturwissenschaftlichen Forschung dar, das von allen hypothetischen Annahmen über psychische, den Bewußtseinserlebnissen zugrunde liegende Größen unabhängig ist. Sie werden dadurch veranlaßt, daß die Feststellung der Größen und Größenbeziehungen der physischen Welt an die Wahrnehmungen gebunden ist, die wir in unserem Bewußtsein vollziehen. Der Vollzug der Wahrnehmungen ist aber nicht nur durch die Beschaffenheit der untersuchten Gegenstände der Außenwelt, sondern überdies von dem Zustande des wahrnehmenden Subjekts abhängig: es machen sich subjektive Faktoren geltend.

Die Berücksichtigung subjektiver Faktoren im naturwissenschaftlichen Forschungsgebiete führte zur Untersuchung a) der Beobachtungsfehler, b) der Ungenauigkeit der Sinneswahrnehmung, c) des Einflusses der gesamten Geistesverfassung oder der Persönlichkeit des Beobachters.

7a) Beobachtungsfehler. Thomas Simpson hebt in einer Abhandlung (an attempt to show the advantage arising by taking the mean of a number of observations, in practical astronomy; 1757) den Vorteil hervor, gehäufte Beobachtungen zu Mittelwerten zu vereinigen. Lambert findet gelegentlich seiner grundlegenden photometrischen Untersuchungen (Photometria, I, 3; 1760), daß bei gleicher Wahrscheinlichkeit der positiven und negativen Fehler das arithmetische Mittel der wahrscheinlichste Wert sei; er unterscheidet drei Arten von Fehlern, je nachdem sie durch die Unbestimmtheit im Urteil des Auges, oder durch die Unachtsamkeit des Beobachters, oder durch die Beschaffenheit der Instrumente und andere äußere Umstände veranlaßt werden; er strebt auch bereits (in den Beiträgen zum Gebrauch der Mathematik und deren Anwendung, 1765) nach einer „Theorie der Zuverlässigkeit der Beobachtungen und Versuche". Daniel Bernoulli (dijudicatio maxime probabilis plurium observationum discrepantium, Abhandlungen der Petersburger Akademie, 1777) setzt ein Fehlergesetz voraus, indem er die Häufigkeit w eines Fehlers Δ der Ordinate des Halbkreises mit dem Radius r gleichsetzt ($w^2 = r^2 - \Delta^2$). — Zu einer einwandfreien Fehlertheorie gelangen Gauß und Laplace. Gauß macht (theoria motus corporum coelestium, 1809) die Voraussetzung, daß bei der wiederholten Beobachtung einer Größe das arithmetrische Mittel der wahrscheinlichste Wert sei und findet demnach die Wahrscheinlichkeit w eines Fehlers Δ bestimmt durch

$$w = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 \Delta^2}$$

Er gelangt so zu der „Methode der kleinsten Quadrate", die auch Legendre entwickelte. Laplace (théorie analytique des probabilités 1812) erweist die Richtigkeit dieser Behandlungsweise der Beobachtungsergebnisse, unabhängig von der Annahme eines Fehlergesetzes, falls die Anzahl der Beobachtungen

sehr groß ist. Gauß (theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae, 1821) zeigt schließlich, daß die Methode der kleinsten Quadrate für jedes Fehlergesetz und bei jeder Anzahl von Beobachtungen gültig sei, wenn man den mittleren Fehler einer (von konstanten Fehlern freien) Beobachtungsreihe durch das Mittel der Fehlerquadrate definiert (nicht, wie Laplace es tat, durch das Mittel der absoluten einfachen Fehlerbeträge). Es ist somit der (ohne Rücksicht auf ein Fehlergesetz berechnete) mittlere Fehler einer Beobachtungsreihe das Maß für die Sicherheit der Beobachtungen und (da die Sicherheit der Beobachtungen, wie schon Lambert hervorgehoben hat, von subjektiven Faktoren abhängig ist) zugleich ein Maß für den Einfluß der subjektiven Faktoren.

7b) Ungenauigkeit der Sinneswahrnehmung. In den Beobachtungsreihen tritt die vereinigte Wirkung aller subjektiven Faktoren neben äußeren Fehlerursachen zutage. Eine weitergehende Untersuchung ist daher nötig, wenn verschiedene subjektive Faktoren in verschiedenem Grade sich geltend machen. Große und kleine Strecken oder Winkel werden in gleicher Weise durch die Stellung eines Zeigers auf einer Skala bestimmt. Handelt es sich jedoch um das Erfassen und Beurteilen von Reizgrößen, die mit wechselnder Stärke auf die Sinnesorgane wirken, so ist auch die Ungenauigkeit der Sinneswahrnehmung in entsprechender Weise veränderlich.

Demgemäß muß bei der Ausführung photometrischer Bestimmungen die Fähigkeit des Auges zur Unterscheidung von Helligkeiten festgestellt werden. Die Begründer der Photometrie, Lambert (Photometria, 1760) und Bouguer (Traité d'optique sur la gradation de la lumière, 1760) prüfen daher die Unterscheidbarkeit gegebener Lichtstärken. Sie ermitteln die Grenzen, innerhalb welcher die Verstärkung oder Schwächung einer Lichtstärke nicht wahrnehmbar ist (also die Unterschiedsschwelle im Sinne Fechners), da es eine allen Sinnesgebieten gemeinsame Eigentümlichkeit ist, daß ein Reizwert innerhalb gewisser Grenzen verändert werden kann, ohne daß die Veränderung bemerkt wird. Lambert findet ein veränderliches (von 0,04 bis 0,07 wachsendes), Bouguer ein konstantes Verhältnis (gleich $1/_{64}$) des eben merklichen Unterschieds zu der jeweils vorhandenen objektiven Stärke des Lichts. Bemerkenswert ist, daß Lambert die Unmöglichkeit hervorhebt, anzugeben, um wie viel die eine Helligkeit größer ist als die andere: das Auge ist „nicht imstande, bezüglich der Helligkeitsgrade ein anderes Verhältnis zu entscheiden als eben das Verhältnis der Gleichheit." — Steinheil (Elemente der Helligkeitsmessungen am Sternhimmel, 1837) führte mit seinem Prismenphotometer, das die Herstellung gleicher, im Gesichtsfelde benachbarter Helligkeiten verlangte, Messungen für verschiedene Helligkeitsgrade aus und fand für die einzelnen Beobachtungsreihen verschiedene wahrscheinliche Fehler. Diese wahrscheinlichen Fehler betrachtete er als das Maß für die Unterscheidbarkeit der Lichtstärken. So fand er, daß man den Helligkeitsunterschied zweier objektiver Lichtstärken noch wahrnehmen könne, wenn die eine um den 38. Teil von der anderen verschieden ist.

Nachdem Johannes Müller (Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns des Menschen und der Tiere, 1826) gelehrt hatte, „daß Licht, Farbe, Ton, Wärme, Kälte und die verschiedenen Gerüche und Geschmäcke, mit einem Worte, was alles uns die fünf Sinne an allgemeinen Eindrücken bieten, nicht die Wahrheiten der äußeren Dinge, sondern die reellen Qualitäten unserer Sinne sind," konnte die Besonderheit und Selbständigkeit der Nervenerregung zur Anerkennung kommen. Es konnte daher auch die Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Sinnesreiz und Sinnesempfindung als eine Aufgabe der Physiologie erkannt werden. Dies führte zur Ausdehnung der durch photometrische Bedürfnisse geforderten Untersuchung der Ungenauigkeit bei der Wahrnehmung der Lichtstärken auf die anderen Sinnesgebiete.

E. H. Weber nahm in seinen Untersuchungen über den Tastsinn (annotationes anatomicae et physiologicae, 1834; Tastsinn und Gemeingefühl in Wagners Handwörterbuch der Physiologie, 1846) diese Aufgabe in Angriff. Er ermittelt zur Prüfung der Auffassung von Distanzen durch das Tastorgan die kleinste Entfernung, in der zwei Zirkelspitzen gesondert wahrgenommen werden. Er stellt für die Wahrnehmung von zwei nacheinander auf dieselbe Hautstelle aufgelegten Gewichten den eben merklichen Unterschied fest. Er belastet ferner verschiedene Stellen der Leibesfläche, um die Gewichte zu bestimmen, die unter diesen Umständen gleich schwer erscheinen. Er untersucht auch die Feinheit beim Empfinden von Wärme, indem er die Hand nacheinander in zwei mit Wasser gefüllte Gefäße eintaucht und die Wassertemperatur verändert, bis der Unterschied eben merklich wird.

Durch diese Beobachtungen gelangt E. H. Weber zu der Einsicht, daß man bei der Wahrnehmung der Reizvorgänge nicht den absoluten, sondern den relativen Unterschied der Reizwerte erfasse. Er sagt (in der Abhandlung über den Tastsinn und das Gemeingefühl): „Ich habe gezeigt, daß der Erfolg bei den Gewichtsbestimmungen der-

Digitized by Google

selbe ist, mag man Unzen oder Lote nehmen; denn es kommt nicht auf die Zahl der Grane an, die das Uebergewicht bilden, sondern darauf, ob das Uebergewicht den dreißigsten oder fünfzigsten Teil des Gewichts ausmacht, welches mit einem zweiten Gewichte verglichen wird." — In dieser Gesetzmäßigkeit erblickte Fechner die wesentlichste Stütze seines psychophysischen Grundgesetzes. Er betrachtete das „Webersche Gesetz" als die von der Erfahrung dargebotene Grundlage der Psychophysik.

7c) Sonstige subjektive Faktoren: Bei seinen sinnesphysiologischen Untersuchungen wurde E. H. Weber auch auf andere, die Feststellung objektiver Zustände und Vorgänge bedingende subjektive Faktoren aufmerksam. Er bemerkte den Einfluß der Ermüdung, die den eben merklichen Unterschied von Sinnesreizen vergrößert. Er beachtete auch, daß nacheinander einwirkende Reize besser unterschieden werden als gleichzeitige. Dies veranlaßte ihn, für zwei nacheinander dargebotene Reize den Einfluß der Intervalls auf die Unterscheidbarkeit der Reize zu prüfen. Er machte somit die ersten Gedächtnisversuche.

Neben diesen, von dem ausgeruhten oder ermüdeten Zustande der Sinnesorgane und der Aufeinanderfolge der Empfindungen abhängigen subjektiven Faktoren machte sich bei astronomischen Beobachtungen ein in der Persönlichkeit des Beobachters unmittelbar begründeter Einfluß geltend, der in der sogenannten „persönlichen Gleichung" seinen Ausdruck findet. Bessel untersuchte diese persönliche Gleichung (Abhandlungen, Bd. 3) und kommt zu der Erkenntnis, daß kein Beobachter „sicher sein kann, absolute Zeitmomente sicher anzugeben". Er sieht darin eine rätselhafte Erscheinung, „indem die Operationen, von denen der Unterschied herrührt, ohne unser Bewußtsein vor sich gehen". Es bricht sich so die Einsicht Bahn, daß Vorstellungen für die subjektive Auffassung anscheinend gleichzeitig oder in unmittelbarer Aufeinanderfolge auftreten können, während die den Vorstellungen zugrunde liegenden objektiven Vorgänge durch meßbare Zeiten getrennt sind.

8. Die Bedeutung des Weberschen Gesetzes. Von diesen Anfängen der psychophysischen Forschung kommt bei Fechner zunächst und unmittelbar nur die Untersuchung der Ungenauigkeit der Sinneswahrnehmung, die zur Aufstellung des Weberschen Gesetzes führte, zur Geltung. Dabei wird das Webersche Gesetz auf die wechselweise Abhängigkeit zwischen physischer und psychischer Welt bezogen: es erfährt eine „psychophysische" Deutung. Eine Stütze für diese Deutung findet Fechner in der Tatsache, daß eine Reizschwelle existiert und daß die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Empfindlichkeit unabhängig ist. Darin sieht er „das Parallelgesetz des Weberschen Gesetzes", dem er folgende Fassung gibt (Elemente der Psychophysik I, S. 302): „Wenn sich die Empfindlichkeit für zwei Reize in gleichem Verhältnis ändert, bleibt sich doch die Empfindung ihres Unterschiedes gleich" oder mit anderen Worten: „Wenn zwei Reize beide schwächer oder stärker empfunden werden als früher, so erscheint doch ihr Unterschied noch eben so groß als vorher für die Empfindung, wenn man beide Reize in demselben Verhältnis abändern müßte, um die frühere absolute Stärke der Empfindung durch beide zu erhalten."

Da jedoch die Annahme der psychischen Größen überhaupt nicht durch die Tatsachen der Erfahrung gefordert wird, so kann der Grund für die Geltung des Weberschen Gesetzes ebensowohl im Uebergange des äußeren Reizvorganges in die Erregung des zentralen Nervensystems (die „psychophysischen Bewegung"), wie auch im Uebergange von den psychischen Größen zum Erfassen dieser Größen in den Gradabstufungen des Bewußtseins gesucht werden.

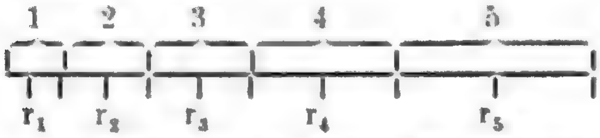
Im ersteren Falle findet eine „physiologische", im letzteren Falle eine „psychologische" Deutung des Weberschen Gesetzes statt (vgl. Wundt, Physiologische Psychologie, Bd. I, S. 629). Die physiologische Deutung setzt Erregungsgesetze der Nervensubstanz voraus, wonach die Reize angenähert im nämlichen Verhältnis wachsen müssen, wenn die zentralen Nervenerregung um gleiche Differenzen zunehmen sollen (G. E. Müller, Zur Grundlegung der Psychophysik, S. 233). Die psychologische Deutung verlegt den Grund für die Geltung des Weberschen Gesetzes in die psychischen Vorgänge, „die bei der Vergleichung der Empfindungen wirksam sind". Man hat alsdann, wie Wundt (a. a. O.) sagt, „das Webersche Gesetz als einen Spezialfall eines allgemeineren Gesetzes der Beziehung oder der Relativität der Bewußtseinszustände" aufzufassen.

Alle diese Deutungen lassen unbeachtet, daß zwar eine Vermittelung zwischen dem äußeren Reize und dem ihm zugehörigen Bewußtseinszustande anzunehmen ist, daß aber nicht diese Vermittelung, sondern der gesetzliche Zusammenhang zwischen der Veränderung des Reizvorganges und der Abstufung der Bewußtseinserlebnisse den Gegenstand der Untersuchung bildet. Dies hat bereits Wilhelm Weber zu klarem Ausdruck gebracht. Seine Auffassungsweise blieb jedoch von seiten Fechners unberücksichtigt; sie wurde erst gelegentlich der Ordnung des Fechnerschen Nachlasses

(1906) veröffentlicht. So kam es, daß sie auf den langjährigen Streit um das psychische Maß und das psychophysische Grundgesetz keinen Einfluß gewann, obwohl sie von Anfang an alle Unklarheiten und Bedenklichkeiten hätte beseitigen können. Sie wurde erst später (in meinem kleinen „Grundriß der Psychophysik", 1899) von neuem entwickelt. Von der Tatsache ausgehend, daß es eben merkliche Abstufungen der Empfindungen gibt, wird dort die Möglichkeit beachtet, die Mannigfaltigkeit unterscheidbarer Empfindungen vom rein psychologischen Standpunkte aus in Reihen zu ordnen, ohne über das, was den Empfindungsstufen zugrunde liegen mag, eine Voraussetzung zu machen. Wird die Ordnung vollzogen gedacht, so ergeben sich Reihen von der Form

$$e_1, e_2, e_3, \ldots$$

wo jeder Empfindung eine bestimmte Ordnungszahl zukommt. Zu jeder Empfindungsreihe gehört ein stetig ausgedehntes Reizgebiet, das in Form einer Strecke vorgestellt werden kann. Es ist daher jeder Ordnungszahl der Empfindungen ein Intervall der Reizstrecke zuzuweisen. Diese Zuordnung kann durch folgendes Linienschema veranschaulicht werden, wo die Annahme gemacht wird, daß die Reizintervalle mit wachsender Ordnungszahl der Empfindungen sich vergrößern:



Hier werden die eben merklich voneinander verschiedenen Empfindungen durch die Ordnungszahlen

$$1, 2, 3, \ldots$$

und die Mitten der zugehörigen Reizintervalle durch

$$r_1, r_2, r_3, \ldots$$

angedeutet. Werden überdies die Längen der aufeinanderfolgenden Intervalle durch

$$2i_1, 2i_2, 2i_3, \ldots$$

bezeichnet, so geben die Werte $i_1, i_2, i_3, \ldots$ diejenigen Beträge an, die zu $r_1, r_2, r_3, \ldots$ addiert oder von $r_1, r_2, r_3, \ldots$ subtrahiert werden müssen, um eine eben merkliche Aenderung der Empfindungen zu veranlassen. Sie stellen somit die Unterschiedsschwellen der zugehörigen Reizwerte dar.

Hat nun das Webersche Gesetz Geltung, so ist das Verhältnis der jeweiligen Unterschiedsschwelle zu dem zugehörigen Reizwerte konstant (gleich c), so daß

$$i_1 = c.r_1;\ i_2 = c.r_2;\ i_3 = c.r_3;\ \ldots$$

Und hieraus ergibt sich, wenn $(1+c):(1-c) = \gamma$ gesetzt wird, durch einfache Rechnung ($r_2 = r_1 + c.r_1 + c.r_2$; siehe den Maßstab)

$$r_2 = \gamma r_1;\ r_3 = \gamma^2 r_1;\ r_4 = \gamma^3 r_1;\ \ldots$$

Es ist somit allgemein

$$r_n = \gamma^{n-1} r_1$$
$$r_m = \gamma^{m-1} r_1$$

wonach

$$\frac{r_n}{r_m} = \gamma^{n-m} \text{ oder } (n-m)\lg\gamma = \lg\frac{r_n}{r_m}.$$

Bei Gültigkeit des Weberschen Gesetzes entsprechen demnach gleichen Differenzen von Ordnungszahlen eben merklich abgestufter Empfindungen gleiche Quotienten von den Maßzahlen der zugehörigen Reize.

Hierin stellt sich uns die Zuordnung von Reiz und Empfindung vor Augen, die aus dem Weberschen Gesetz ableitbar ist. Sie gründet sich lediglich auf die Ordnungszahlen (oder die Gradnummern) der Empfindungen und auf die Maßzahlen der Reizwerte, ohne die Empfindungen selbst als meßbare Größen und als mathematische Funktionen der zugehörigen Reizwerte vorauszusetzen.

9. Das Untersuchungsgebiet der Psychophysik. Mit dem Verzicht auf die Annahme psychischer Größen und eines psychophysischen Gesetzes, das die psychischen Größen an die ihnen zur Seite tretenden physischen Größen der Nervenerregung bindet, fällt die Schranke, die Fechner gehindert hat, die Gesamtheit der subjektiven Faktoren, die bei der naturwissenschaftlichen Forschung Einfluß gewinnen, dem psychophysischen Untersuchungsgebiete zuzuweisen. Es zeigt sich zugleich die Möglichkeit, vom Standpunkte des Psychologen aus, die Klarstellung der unmittelbaren objektiven Unterlage für die subjektiven Erscheinungen des Bewußtseins, ohne die Einschränkung durch hypothetische Annahmen bezüglich des Zusammenhangs zwischen den physischen und psychischen Lebensäußerungen, anzustreben.

Es erweist sich demnach der tatsächliche Zusammenhang zwischen Bewußtsein und objektivem Sein in seinem ganzen Umfang als der Gegenstand der Psychophysik.

Literatur. ***G. Th. Fechner,*** *Elemente der Psychophysik. 1860. 2. Aufl. 1889.* — ***Derselbe.*** *Revision der Hauptpunkte der Psychophysik. 1882.* — ***G. E. Müller,*** *Zur Grundlegung der Psychophysik. 1878.* — ***Derselbe.*** *Die Gesichtspunkte und Tatsachen der psychophysischen Methodik. 1909.* — ***W. Wundt,*** *Grundzüge der physiologischen Psychologie. 6. Aufl. 1908; Bd. I; Kap. 9; Intensität der Empfindung.* — ***Derselbe,*** *Logik. 3. Aufl. 1908; Bd. III; Kap. 3; Die Logik der Psychologie.* — ***Foucault,*** *La psychophysique. 1901.* — ***G. F. Lipps,*** *Grundriß der Psychophysik (Sammlung Göschen). 1899. 2. Aufl. 1909.* — ***Der-***

Digitized by Google

selbe, *Die psychischen Maßmethoden.* 1906. — **W. Wirth,** *Psychophysik (Handbuch der physiologischen Methodik Bd. III Abt. 5). 1912. — Bericht über das Fechner-Archiv und Zwei Briefe von Wilhelm Weber an G. Th. Fechner über das psychische Maß in den Berichten der Mathem.-Phys. Klasse der Kgl. Sächsischen Gesellschaft d. Wissenschaften in Leipzig. Bd 57. 1905. Veröffentlicht von G. F. Lipps.*

G. F. Lipps.

Pterobranchia.

1. Allgemeines. 2. Anatomie. a) Gliederung des Körpers und Darmkanal. b) Cölome und deren Pforten. c) Muskulatur. d) Nervensystem. e) Grenzmembran und Blutgefäßsystem. f) Gonaden. 3. Besondere Ausbildung einzelner Teile. a) Haut und Gehäuse. b) Arme. c) Männchen von C. sibogae. 4. Ontogenie. 5. Knospung und Regeneration. 6. Biologie. 7. Systematik und geographische Verbreitung. 8. Verwandtschaft.

1. Allgemeines. Die Pterobranchier sind kleine, höchstens wenige Millimeter lange Meerestiere, die entweder (Cephalodiscus) als individuenreiche Kolonien oder (Rhabdopleura) als verästelte Stöcke in Gehäusen leben, welche auf Fremdkörpern (Steinen, Muschelschalen, Annelidenröhren, Bryozoengehäusen) angeheftet sind. Sie werden meist in ziemlich beträchtlicher Tiefe gefunden. Die im Jahre 1868 von Norman entdeckte, im darauffolgenden von Allman beschriebene Rhabdopleura bildete bis zum Jahre 1882 den einzigen Vertreter einer von Lankester Pterobranchier benannten Tiergruppe, die dieser mit den meisten Forschern jener Zeit für eine abweichende Bryozoenform hielt. Erst nachdem der auf der Challenger-Expedition aufgefundene, von M'Intosh beschriebene Cephalodiscus hinzugekommen war, stellte sich, hauptsächlich durch die eingehende anatomische Untersuchung des letzteren Tieres durch Harmer, heraus, daß jedenfalls die Beziehungen zu anderen Tierformen inniger als zu den Bryozoen sind (s. unten).

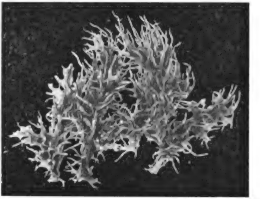


Fig. 1. Cephalodiscus hodgsoni. $^1/_2$ natürlicher Größe. Nach Ridewood.

Das Gehäuse (oft Coenoecium, nach Lankester Tubarium genannt), das aus einer biegsamen, durchsichtigen, gallertigen Masse besteht, ist bei Cephalodiscus meistens sehr umfangreich, bis zu 225 mm hoch, verästelt (Fig. 1, 2), netzförmig oder rasenartig (Fig. 3), bei Rhabdopleura meist 1 bis 1,5 cm, selten bis etwa 7 cm lang, von der Gestalt einer kriechenden verästelten zylindrischen Röhre (Fig. 4).

Der bei Cephalodiscusarten 1,5 bis 5 mm, bei Rhabdopleura kaum über $^1/_2$ mm lange Körper der die Gehäuse bewohnenden Tiere (wie bei den Bryozoen häufig Polypide genannt) ist bei beiden Gattungen in einen dünneren Stiel ausgezogen, der bei Cephalodiscus (Fig. 5) mit einer saugscheibenartigen Verdickung beginnt, bei Rhabdopleura kurzen Seitenästen eines „schwarzen Stolos" entspringt (Fig. 6).

In beiden Gattungen erfolgt eine Vermehrung durch Knospung und zwar bei Cephalodiscus von der Basis des Stieles (Fig. 5), bei Rhabdopleura von Seitenästen des schwarzen Stolos aus (Fig. 6). Bei ersterer Gattung lösen sich die Knospen ab, sobald sie ausgebildet sind, während sie bei letzterer am Stolo bleiben, so einen Stock (Cormus) erzeugend.

2. Anatomie. 2a) Gliederung des Körpers und Darmkanal. Der Körper jedes Individuums besteht aus 3 Abschnitten, 1. einem Protosom, 2. einem Mesosom, 3. einem Metasom, das sich in den Stiel fortsetzt. Das Protosom (Mund- oder Kopfschild) ist stark dorsoventral abgeplattet,

Digitized by Google

scheibenförmig, und tritt an einem mehr oder weniger ausgeprägten Hals dorsal von der Mundöffnung aus dieser hervor, die sich am Vorderende des Mesosoms befindet. Letzteres entsendet ein (**Rhabdopleura**) (Fig. 7) oder 5 bis 8 (**Cephalodiscus**) Paare von Armen (Lophophoren) (Fig. 5). Diese entspringen jederseits in einer nach innen konvexen bogenförmigen Linie (Fig. 8), die vom

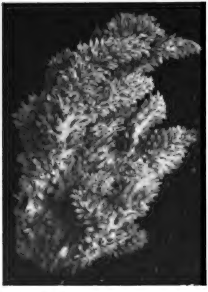


Fig. 2. **Cephalodiscus nigrescens.** $\frac{1}{1}$ natürlicher Größe. Nach **Ridewood.**

Protosomstiel ausgehend sich bis zum dorsalen Rande der Unterlippe erstreckt. Ihre nach außen gekehrte Fläche ist rinnenartig vertieft, und von den beiden Rändern der Rinne gehen zahlreiche nach außen gekehrte Tentakel ab. Das Metasom ist sackförmig. Nahe seinem Hinterende, infolge der Kontraktion an konservierten Tieren meistens mehr oder weniger ventralwärts und nach vorn gerückt, setzt der Stiel an (Fig. 5, 7). Nahe dem Vorderende des Metasoms befindet sich, bei **Cephalodiscus** median, bei **Rhabdopleura** auf einem kleinen, gewöhnlich etwas nach rechts verschobenen Hügel, auf der dorsalen Seite die Afteröffnung. Dementsprechend ist der Darm-

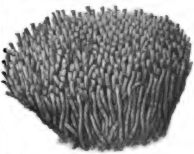


Fig. 3. **Cephalodiscus densus.** $\frac{1}{2}$ natürlicher Größe. Nach **Andersson.**

kanal ein U-förmig gekrümmtes Rohr (Fig. 9). Er besteht aus einem Vorderdarm, an dem Pharynx und Oesophagus unterschieden werden, einem Magen mit einem dorsal vom Pharynx nach vorn zu sich erstreckenden Blindsack, einem Mittel- oder Dünndarm und einem erweiterten Rectum oder Enddarm, der sich gegen den After zu wieder verengt. Die Wand des Pharynx ist bei **Cephalodiscus** auf jeder Seite mit einer Furche ausgestattet, die sich an ihrem hinteren Ende in einen kurzen Kanal fortsetzt, welcher auf der Grenze von Meso- und Metasom die

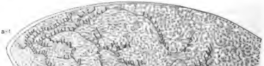


Fig. 4. **Rhabdopleura normani** auf einer Schale von Modiola. $\frac{3}{4}$ natürlicher Größe. ast Anfangsstelle, enr Endröhren. Nach **Schepotieff.**

Digitized by Google

Haut durchbricht: ein Paar Kiemenröhren. Bei **Rhabdopleura** fehlen diese.

2b) Cölome. Jeder der 3 Körperabschnitte enthält seine eigenen Cölome, die

Fig. 5.

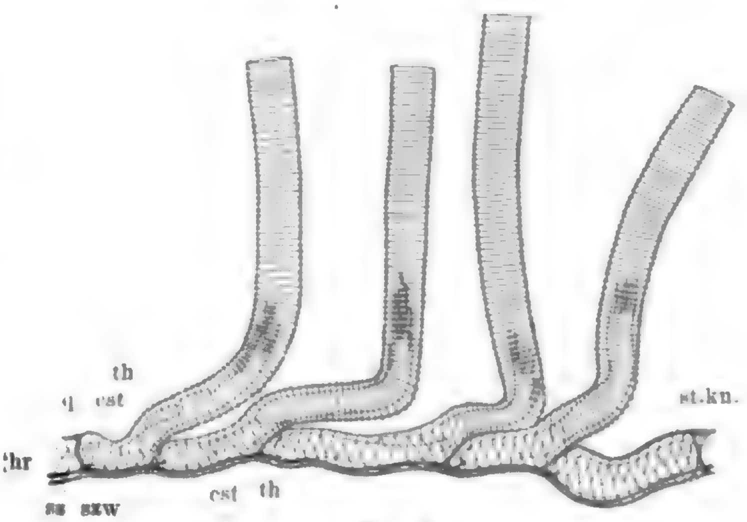


Fig. 6.

Fig. 5. **Cephalodiscus dodecalophus**, ein Individuum mit einer vom Stiel St entspringenden Knospe K. Ms Protosom; O Pigmentstreif desselben. Aus Claus-Grobben.

Fig. 6. Stück eines Stockes von **Rhabdopleura normani** bei schwacher Vergrößerung. cst. kontraktiler Stiel der Individuen th, hr Hauptröhre; q eine ihrer Querscheidewände; ss schwarzer Stolo; st.kn. sterile Knospe; szw Seitenzweig des schwarzen Stolos. Nach Schepotieff.

durch Scheidewände vollständig voneinander abgeschlossen sind (Fig. 10). Im Protosom ist ein einziges vorhanden, im Meso- und Metasom

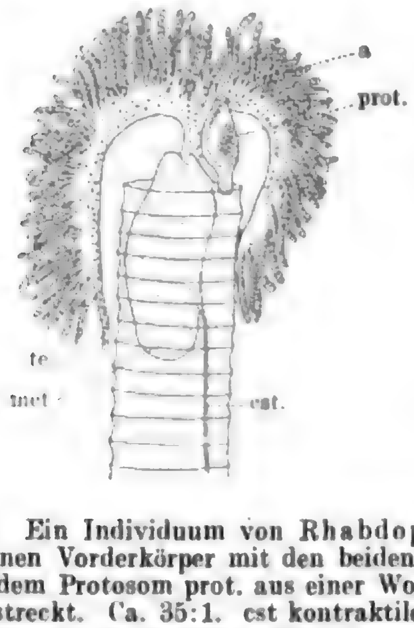


Fig. 7. Ein Individuum von **Rhabdopleura**, das seinen Vorderkörper mit den beiden Armen a und dem Protosom prot. aus einer Wohnröhre hervorstreckt. Ca. 35:1. cst kontraktiler Stiel; met Metasom; te Tentakel. Nach Schepotieff.

dagegen je ein Paar, die durch Längsscheidewände (Mesenterien) voneinander getrennt sind (bei **Rhabdopleura** fehlt im Mesosom die ventrale). Die hierin sich aussprechende außerordentliche Aehnlichkeit mit Enteropneusten wird weiter dadurch gesteigert, daß gerade wie dort die Cölome des ersten und zweiten Abschnitts durch kurze Kanäle, Poren, besser Pforten genannt, sich nach außen öffnen, hier beide durch je ein Paar, also wie bei gewissen Formen unter den

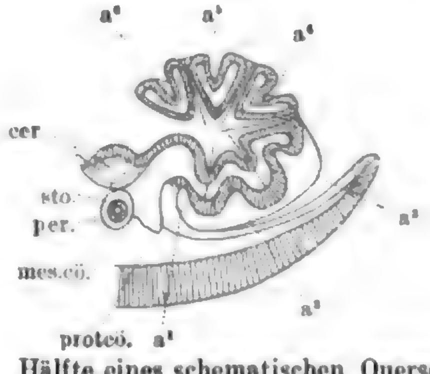


Fig. 8. Hälfte eines schematischen Querschnitts durch das Protosom, den vorderen Teil des Mesosoms und die davon entspringenden 6 Arme a^1 bis a^6 der einen Körperhälfte von **Cephalodiscus**. cer Gehirn; mes. cö. Cölom des Mesosoms; per. Perikard; prot. cö. Cölom des Protosoms; sto Stomochord. Nach Harmer.

Enteropneusten (z. B. **Harrimania**). Indessen treten die des Mesosoms nicht in Beziehungen zu den Kiemenröhren; sie münden dicht vor den Kiemenspalten und etwas dorsal von ihnen. Das Cölom des Mesosoms entsendet Fortsetzungen in die Arme, die Tentakel und eine wegen gewisser Besonderheiten bei **Cephalodiscus** als Orallamelle

Digitized by Google

oder postorale Lamelle bezeichnete Unterlippe, die in zwei seitliche, weit auf die dorsale Seite übergreifende Lappen ausgezogen ist (von Harmer Operculum genannt). Jedes Cölom des Metasoms erstreckt sich in Gestalt eines Zipfels ventral von den Kiemenspalten bis zu den Mesosompforten in die Region des Mesosoms hinauf und geht andererseits durch den ganzen Stiel hindurch.

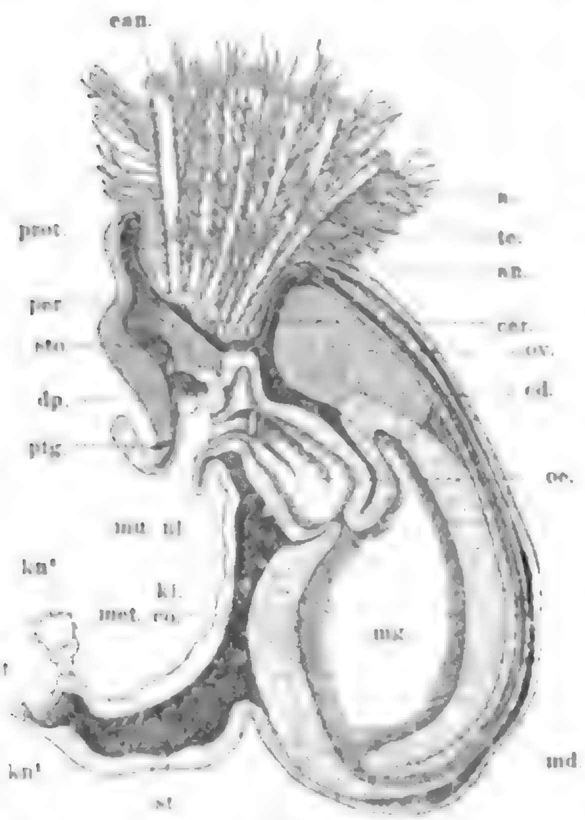


Fig. 9. Schematische Darstellung der rechten Körperhälfte eines Cephalodiscus von der Schnittfläche aus. a einer der 6 Arme mit ihrer Endanschwellung can; an After; cer Gehirn; dp Drüsen des Protosoms prot und dessen Pigmentstreifen pig; ed Enddarm; ki Kiemenspalte; kn¹ und kn² 2 Knospen, vom Stiel st entspringend; md Mitteldarm; met cö Cölom des Metasoms; mg Magen; oe Oesophagus; ov Ovarium; per Perikard; st Stiel; sto Stomochord. Nach Schepotieff.

2c) Muskulatur. In der Außenwand der Cölome ist Muskulatur entwickelt und zwar als eine schwache Längsfaserschicht. Im Stiel ist dieselbe zu einem kräftigen Retraktor verstärkt, der sich im Rumpfe bis an das Vorderende des erwähnten Zipfels des Metacöls fortsetzt. Im Mesosom bilden dessen Fortsetzung zwei die Mundöffnung zwischen sich fassende Oralmuskelbündel, an die sich wiederum im Protocöl ein gegen die ventrale Wand des Protosoms ausstrahlendes Bündel anschließt, während diese selber einer eigenen Muskelschicht entbehrt. Aber auch die Arme und die Tentakel sind mit einem dünnen, aus Längsfasern gebildeten Hautmuskelschlauch ausgestattet. Ferner sind der Pharynx, der Oesophagus, die Ventralseite des Magenblindsacks, die Gefäße und die Mesenterien der beiden hinteren Cölompaare mit einer dünnen Längsmuskelschicht versehen. Nur unter der

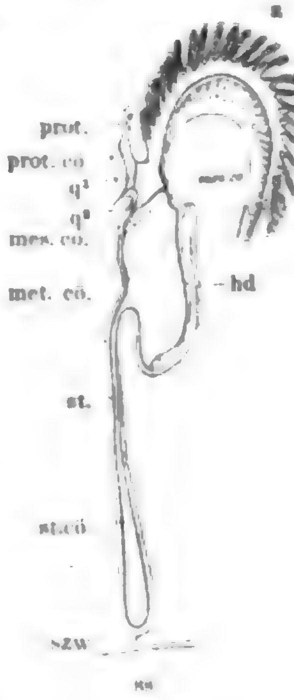


Fig. 10. Schematische Seitenansicht eines Individuums von Rhabdopleura zur Darstellung der Cölome und der sie trennenden Septen q¹ und q². Nach Schepotieff. a Arm; hd Hode; prot Protosom und sein Cölom prot cö; mes cö Cölom des Mesocöls, sich in die Unterlippe (punktierte Linie) und in die Arme erstreckend. met cö Cölom des Metacöls, sich als st cö in den Stiel cö fortsetzend; ss schwarzer Stolo; szw Seitenzweig desselben, von dem der Stiel des Individuums ausgeht.

Innenwand der Unterlippe findet sich Quermuskulatur. Radiäre Muskeln durchsetzen gewisse Teile des Protocöls und vom Mesocöl namentlich die Unterlippe. Ein besonderer Muskelapparat ist im Anschluß an die Mesompforten ausgebildet und scheint deren Oeffnung zu bewirken.

2d) Nervensystem. Das Nervensystem gehört gänzlich der Epidermis an und wird in Gestalt von Fasern sichtbar, die vielleicht über den ganzen Körper einen zwischen den inneren Abschnitten der Epidermiszellen gelegenen Plexus bilden, der aber nur an gewissen Stellen infolge seiner größeren Mächtigkeit deutlich hervortritt. Eine besonders kräftig ausgebildete an der dorsalen Seite des Mesosoms erscheint als das Zentrum, Gehirn (Fig. 9), das bisweilen einen kurzen Fortsatz als Repräsentanten eines dorsalen Stammes in der Richtung auf den After zu entsendet, ferner jederseits einen zunächst der Grenze von Meso- und Metasom folgenden Seitennerven, der sich dann zum letzteren wendet und dort in den allgemeinen, sich auch über den Stiel erstreckenden und hier an der ventralen Seite erheblich verdickten Plexus übergeht. Eine weitere starke Faserlage findet sich am Grunde des Epithels der ventralen Protosomwand, manchmal auch an dem der dor-

Digitized by Google

salen und steht ihrerseits in Verbindung entweder direkt mit dem Gehirn oder vermittels Fasern, die unter dem Epithel der Unterlippe liegen. Nervenzellen sind nur im Bereiche des Gehirns und des Stielnerven zu beobachten.

2e) Grenzmembran und Blutgefäßsystem. Zwischen den Epithelien und den Cölomen liegt wie bei den Enteropneusten überall eine dünne Grenzmembran, und Spalten in ihr stellen das Blutgefäßsystem dar. Letzteres hat wie bei jenen sein Zentrum im Protosom. In diesem liegt nämlich außer einem Cölom noch ein kleineres hohles Organ, eine geschlossene Blase, die Herzblase oder das Pericardium (Fig. 9),

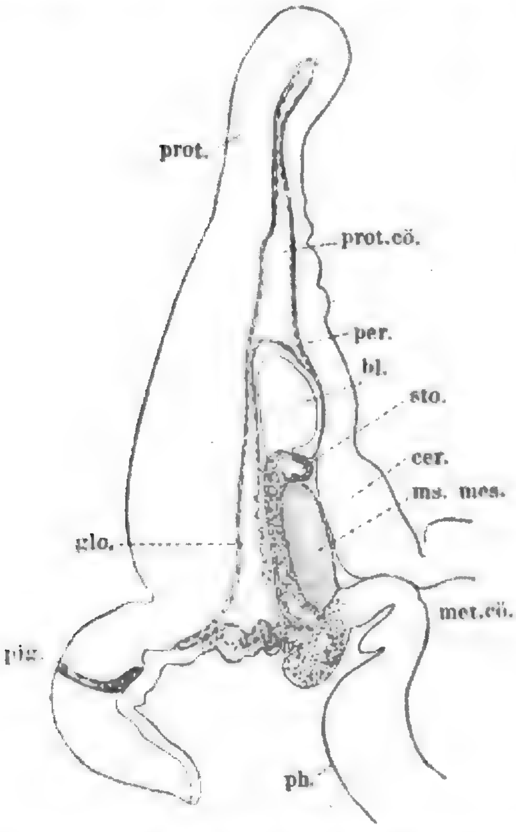


Fig. 11. Medianer Sagittalschnitt des Protosoms von Cephalodiscus. Etwa 130:1. bl Blutraum; cer Gehirn; glomerulusartiges Blutgefäß an der ventralen Seite des Stomochords sto; ms mes Mesenterium, das die vorderen Fortsätze der beiden Mesocöle trennt; met cö Cölom des Metacöls; per Perikard; ph Pharynxwand; pig Pigmentstreifen des Protosoms prot und sein Cölom prot cö. Nach Andersson.

zwischen den Protosompforten und am vorderen Ende zweier zipfelartiger Fortsätze der beiden Mesosome gelegen. Außerdem ragt in das Protosom ein etwa zylindrischer Fortsatz der Pharynxwand, entsprechend dem Eicheldarm (Notochord, Stomochord) der Enteropneusten, hinein (Fig. 9, 11). Er umschließt mehrere abgesprengte Teile eines Hohlraumes und pflegt auch mit dem Hohlraum des Pharynx nicht mehr in offener Verbindung zu stehen, sondern nur dessen Epithel zu berühren. Bemerkenswerter aber sind die Unterschiede, die in bezug auf das Lageverhältnis des Perikardialbläschens zu ihm im Vergleich mit den Enteropneusten bestehen. Es liegt nicht an seiner dorsalen Seite, zwischen dieser und der Haut, sondern an seinem Vorderende, etwas auf die ventrale Seite übergreifend. Dementsprechend ist nicht seine ventrale Wand eingestülpt, sondern seine Hinterwand, aber auch diese umgibt einen Blutraum, der dem zentralen Blutraum jener Tiere entspricht, von Andersson Herz genannt. Auch dürfte es damit in Beziehung stehen, daß die Muskulatur dieser Wand nicht von Quer-, sondern von Längsfasern gebildet ist. Ferner ist die Verbindung dieses Blutraumes mit den Gefäßen etwas anders als bei jenen, soweit sie nach den lückenhaften und teilweise widersprechenden Beobachtungen zu beurteilen ist. Von dem ventralen Ende des Blutraumes geht einerseits längs der ventralen Seite des Stomochords ein Gefäß ab, das oft sehr weit und bisweilen mit Aussackungen versehen ist, die etwas an einen „Glomerulus" erinnern, und dieses scheint sich am Hinterende des Stomochords in zwei Aeste zu teilen, die durch das Mesosom ventralwärts verlaufen und sich schließlich mit dem dort beginnenden Bauchgefäß vereinigen sollen, das sich durch das Metasom fortsetzt. Andererseits geht von dem Blutraum auch ein Gefäß aus, das dorsal vom Stomochord nach hinten zieht und in das Rückengefäß übergeht, ein Gefäß, das in dem die beiden Metasome trennenden Mesenterium zwischen Vorder- und Hinterdarm bis an den Magenblindsack verläuft, nachdem es zwei Aeste an die neben dem After ausmündenden Gonaden abgegeben hat.

Fig. 12. Ein Männchen von Cephalodiscus sibogae. a Arme (r a rechter, l a linker); hd Hoden (r rechter, l linker); met Metasom; prot Protosom. Nach Harmer.

Digitized by Google

Seine Fortsetzung scheint sowohl mit sinusartigen Räumen in der Wand des Magens als auch mit den beiden Gefäßen des Stieles in Verbindung zu stehen, die an dessen ventraler und dorsaler Seite verlaufen, nach Harmer wahrscheinlich eine Gefäßschlinge darstellen, während sich nach Andersson das dorsale in ein Gefäß fortsetzt, das zwischen dem Enddarm und der Haut weit gegen den After hinzieht.

2f) Gonaden. Die Gonaden sind bei Cephalodiscus ein Paar kugeliger oder länglicher Säckchen (Fig. 9) mit einem von ihrem Vorderende ausgehenden zylindrischen, beim Weibchen durch rotes Pigment ausgezeichneten, beim Männchen nur ausnahmsweise pigmentierten kurzen Ausführungsgang, der neben dem After auf der dorsalen Seite ausmündet. Bei Rhabdopleura ist sowohl der Eierstock als auch der Hode unpaarig, nur auf der rechten Seite vorhanden. Alle Pterobranchier sind in der Regel getrennten Geschlechts; doch tritt bei einigen Arten die äußerst seltene Form des Hermaphroditismus auf, wo auf der einen Seite ein Eierstock, auf der anderen ein Hode vorkommt. Von einigen Cephalodiscusarten hat man bisher nur Weibchen, von anderen beide Geschlechter beobachtet, die bei gewissen auf verschiedene Kolonien verteilt sind, bei anderen durcheinander vorkommen. Männchen und Weibchen sind meistens nur durch ihre Gonaden voneinander verschieden, während bei C. inaequatus And. die ersteren 6, die letzteren aber nur 5 Arme haben und bei C. sibogae Harm. die meisten Individuen steril sind, neben solchen aber Männchen vorkommen, die einen stark reduzierten Bau aufweisen (s. u.), während Weibchen bis jetzt nicht zur Beobachtung gekommen sind. Bei Rhabdopleura sind die meisten Stöcke steril; jedoch kommen in einzelnen spärliche Männchen und in anderen Weibchen vor. Die Hoden sind gelegentlich sehr langgestreckt und mit einem langen, von Sperma strotzenden Samenleiter versehen, der durch eine Einschnürung von dem Hoden abgesetzt ist.

3. Besondere Ausbildung einzelner Teile. 3a) Die Haut und das Gehäuse. Bei einigen Cephalodiscusarten sind gewisse Teile der Epidermis dunkel pigmentiert, namentlich die des Metasoms, bei C. nigrescens auch solche des Protosoms sowie die konvexen Seiten der Mesosomarme. Außerdem ist bei allen ein gebogener, nach vorn konkaver Streifen eines roten Pigments vorhanden, der quer über die hintere Hälfte der ventralen Fläche des Protosoms zieht (Fig. 5, O; Fig. 9ml, 11pig.). Von den Drüsenzellen der Epidermis sind besonders diejenigen des davor gelegenen Mittelfeldes dieses Körperabschnittes mächtig ausgebildet (Fig. 9, dp) und spielen eine wichtige Rolle, indem sie dem Tier nicht nur die Anheftung beim Kriechen ermöglichen, sondern namentlich die Substanz des Gehäuses liefern, von der beständig neue Portionen den früher gebildeten angelagert werden, um so nach und nach dieses zu vergrößern, und zwar nicht nur an den Mündungen, sondern auch an der Innenseite der von den Individuen bewohnten Hohlräume, zum Teil auch an der Außenseite. Um die Mündungen und in der ganzen Wand der röhrenförmigen Gehäuse von Rhabdopleura und gewissen Cephalodiscusarten stellen diese Portionen sich als Ringe dar, sonst als weniger regelmäßige, in der Mitte dickere, nach den Rändern zu sich abflachende Massen, die an- bezw. übereinander gefügt werden. Je nachdem entstehen bestimmte Formen von Gehäusen, die für die verschiedenen Arten charakteristisch zu sein scheinen und sogar dazu haben dienen können, die Cephalodiscusarten in Untergattungen einzuteilen. In der einen, Demiothecia, umschließt das Gehäuse einen einzigen, unregelmäßigen, aber zusammenhängenden Hohlraum, in dem die zahlreichen Individuen der Kolonie leben, mit vielen unregelmäßig angeordneten rundlichen, meist von stachelartigen Fortsetzungen umstellten Oeffnungen an der Oberfläche (Fig. 1), aus der sie hervorkriechen (s. Biologie). Bei anderen sitzt jedes Individuum in einem eigenen, gegen die übrigen abgeschlossenen sackförmigen Hohlraum, der auch seine besondere Oeffnung besitzt. Während diese bei der Untergattung Idiothecia zu mehr oder weniger umfangreichen Gehäusen vereinigt sind, die in ihrer Gesamtgestalt denen der ersteren Gattung sehr ähnlich sein können (verästelt, netzförmig (Fig. 2), sind in der Untergattung Orthoecus die das Gehäuse bildenden zahlreichen Röhren entweder nur an ihrer gemeinsamen Basis verbunden und erheben sich von dort aus senkrecht frei nebeneinander (Fig. 3) oder sind durch lockere Sekretmassen miteinander verkittet. Bei Rhabdopleura bilden sie immer verästelte Röhren, die, soweit sie den „schwarzen Stolo" enthalten, auf der Unterlage kriechend ausgebreitet und an der Anheftungsseite meistens abgeflacht sind, von zahlreichen Punkten aber Aeste absenden, die sich frei erheben und aus deren Oeffnungen sich die Individuen hervorstrecken. Der von je einem solchen bewohnte Röhrenabschnitt ist von den angrenzenden durch eine Scheidewand (q) abgeschlossen (Fig. 6). Jeder Stock geht von einer durch besondere Eigenschaften ausgezeichneten Anfangsstelle (ast) aus mit einer „Embryonalblase", die von einem Ringe des schwarzen Stolos umgeben ist (Fig. 4).

Digitized by Google

Der „schwarze Stolo" verdankt seine grünlich-schwarze Färbung der dunklen Innenschicht seiner Hülle. Der Innenraum ist meistens nicht ganz ausgefüllt von einem kompakten Strang, dessen oberflächliche Lage die mit Pigmentklumpen durchsetzte Epidermis ist, während im Innern verschmolzene Zellen liegen, die von einem feinen Achsenfaden durchzogen sind.

3b) Arme. Die Zahl der Armpaare beträgt bei Cephalodiscusarten meistens 5 oder 6, bei C. nigrescens durchschnittlich 7, in der Untergattung Orthoecus 8. Nur bei den Männchen von C. sibogae sind die Arme auf ein einziges Paar reduziert, ebenso wie bei Rhabdopleura nur eines vorhanden ist. Bei einigen Cephalodiscusarten geht jeder Arm in ein Knöpfchen aus, dessen Epidermis mit Drüsenzellen ausgestattet ist und das frei von Tentakeln bleibt (Fig. 5), während bei anderen und bei Rhabdopleura diese bis an die schlanke Spitze reichen (Fig. 7).

3c) Die Männchen von C. sibogae (Fig. 12). Diese weisen einen stark reduzierten Bau auf. Sie besitzen nur ein einziges Paar von Armen ohne jede Spur von Tentakeln. Ihr etwas angeschwollener Endabschnitt ist meistens reich an lichtbrechenden Körperchen (Drüsenzellen), die denen in den Endknöpfchen der Arme anderer Arten gleichen. Besonders groß ist ihr Metasom und geht an seinem Hinterende ganz allmählich in einen sehr langen Stiel über. Ob ihnen Protosompforten zukommen, ist unsicher, dagegen sind die des Mesosoms vorhanden. Kiemenspalten fehlen wohl sicher. Der Darmkanal ist ungemein eng und entbehrt vielleicht eines Afters. Im übrigen ist die typische Organisation in den meisten Punkten nachweisbar. Die Hoden sind sehr groß, länglich und mit Einschnürungen und Lappungen versehen.

4. Ontogenie. Die Entwickelung der ziemlich großen, dotterreichen Eier verläuft bei Cephalodiscus bis zur Bildung einer ovoiden, ganz bewimperten Larve in den

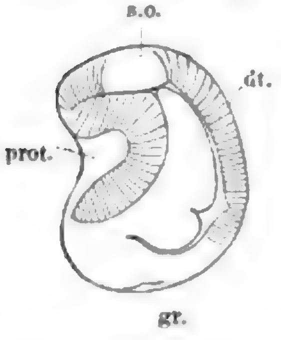


Fig. 13. Eine Larve von Cephalodiscus in Seitenansicht. dt Dotter; gr Hautgrube am Hinterende; prot Protosom napfartig eingesunken; so Sinnesorgan. Nach Harmer.

Hohlräumen des Gehäuses. Die Furchung ist total. Nach Andersson, dem einzigen, der frisches Material vor sich gehabt hat, wird durch Invagination eine Gastrula gebildet. Nach einer Verlängerung derselben schließt sich der Blastoporus. Am vorderen Pole entsteht ein Sinnesorgan, neben dem bald darauf ein Paar roter Pigmentflecke auftreten, dahinter an der ventralen Seite eine Einsenkung mit drüsiger Wand, die zu dem Drüsenkomplex des Protosoms wird, am Hinterende eine kleine, mit Schleimdrüsen versehene Grube (Fig. 13). Bald nach dem Ausschlüpfen erscheint unter dem ganzen Ektoderm ein Nervenplexus, an dem ein Paar Seitennerven sich ausbilden, die hinter der Drüsenpartie wieder zu einem einheitlichen Plexus verschmelzen, während an ihrem vorderen Ende je ein Ganglion gelegen ist. Die Herkunft der beiden frühzeitig auftretenden Cölompaare hat nicht beobachtet werden können, während nach Andersson das des Protosoms aus dem vorderen Teile des Urdarmes entsteht und von ihm ein kleinerer Hohlraum, das Perikardbläschen, abgetrennt wird. Das Stomochord bildet sich als eine Ausstülpung des Urdarmes in das Protosom. Eine Metamorphose macht die Larve im freischwimmenden Zustande wahrscheinlich nicht durch, sondern es ist anzunehmen, daß sie sich mit dem Hinterende anheftet und unter Aussprossung der Arme und Tentakel heranwächst.

5. Knospung und Regeneration. Die Knospung dürfte bei Cephalodiscus und Rhabdopleura in wesentlich der gleichen Weise vor sich gehen. Die Cölome des Metacöls liefern alle drei Cölompaare, vermutlich einschließlich des Perikardbläschens, durch Teilung eines ursprünglich gebildeten einheitlichen Paares. Bei der ersteren Gattung wird eine Ektodermeinstülpung zum Darm der Knospe, aus dem sich dann auch das Stomochord ausstülpt. Eine besondere Endodermanlage beschreibt Schepotieff für Rhabdopleura. Frühzeitig macht sich schon die Gliederung in die drei Körperabschnitte bemerkbar, von denen anfangs das Protosom besonders groß ist und das Mesosom ursprünglich der Arme entbehrt. Von diesen entsteht zuerst nur das dem Protosomstiel nächste Paar und nacheinander paarweise die anstoßenden, ein jedes zwischen dem Seitenrande der Unterlippe und dem Protosomstiel.

Bei Rhabdopleura bilden sich in geschlossenen Kammern der Wohnröhren „sterile Knospen" (Fig. 6), ovale oder längliche Säckchen, an denen sich keine Organe erkennen lassen, sondern nur eine Epidermis mit zahlreichen Pigmentballen und im Innern ein von einer Membran umschlossener bindegewebiger Zellenkomplex mit Mengen von oft dichtgedrängten Dotterkornern. Manche liegen in Kammern, deren Hülle eine dunkel gefärbte Innenschicht hat

Digitized by Google

(sogenannte eingekapselte sterile Knospen), sie treten hauptsächlich im Herbst auf und dienen vielleicht der Ueberwinterung, daher Hibernacula genannt. Ein weiteres Wachstum der sterilen Knospen konnte niemals beobachtet werden.

In Wohnröhren von **Rhabdopleura**, deren Polypide bis auf den kontraktilen Stiel zugrunde gegangen sind, erfolgt eine Regeneration durch einen der Knospung gleichenden Vorgang von dessen Ende aus.

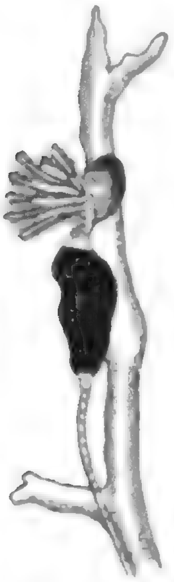


Fig. 14. Ein Individuum von Cephalodiscus inaequatus an der Außenseite eines Gehäusefortsatzes mittels seines Protosoms sich kriechend fortbewegend, während es durch den Stiel an der Innenseite des Gehäuses angeheftet ist. Man sieht die 10 Arme des Mesosoms und das dunkle Metasom. Ca. 6:1. Nach Andersson.

6. Biologie. Der einzige, der bis jetzt Cephalodiscen (C. dodecalophus und inaequatus) im lebenden Zustande beobachtet hat, ist Andersson, dem wir auch eine farbige Abbildung eines solchen verdanken. „In Ruhe gelassen, kommen sie bald durch die Oeffnungen des Coenoeciums heraus und kriechen langsam längs den Ausläufern neben diesen. Man kann sie auch auf der äußeren Seite der Wand der Gehäuse kriechen sehen (Fig. 14). Hierbei wird das Protosom als Kriechorgan angewandt, und man kann sehn, wie es während der Bewegung verschiedene Form annimmt. Mit der Saugscheibe am distalen Ende des Stiels sitzt das Tier stets an der Innenseite seines Raumes befestigt. Während des Kriechens ... wird der Stiel sehr stark ausgedehnt, wobei er sehr wohl 1 bis 2 cm Länge erreichen kann. Auch der Körper selbst und besonders die Mesosomregion wird dabei stark ausgedehnt. Der Stiel bildet dann eine direkte Fortsetzung des Körpers nach hinten, und der Uebergang zwischen ihnen ist nicht besonders scharf. Die Arme stehen hierbei schräge nach außen und oben. . . . Bei einem schwachen Stoß gegen einen Teil des Coenoeciums ziehen sich alle Tiere in das Coenoecium zurück." Aehnliche Bewegungen hat Sars bei Rhabdopleura beobachtet.

7. Systematik und geographische Verbreitung. Rhabdopleura ist überwiegend in der nördlichen Hemisphäre angetroffen worden (Küste von Norwegen, ferner von Grönland und Tristan d'Acunha **Rh. normani**, Küste von Großbritannien **Rh. compacta**, von den Azoren **Rh. grimaldii** und **manubialis**), nur Röhrenbruchteile einer Art aus dem malayischen Archipel. Dagegen ist Cephalodiscus, dessen bis jetzt beschriebene 12 Arten sich auf die oben erwähnten 3 Untergattungen verteilen (**Demiothecia dodecalophus, aequatus, inaequatus, hodgsoni, gracilis** und **sibogae, Idiothecia nigrescens, levinseni** und **gilchristi** und **Orthoecus solidus, densus** und **rarus**), fast ganz auf die subantarktischen und antarktischen Meeresgebiete beschränkt; C. **sibogae** und **gracilis** gehören dem malayischen Archipel an.

8. Verwandtschaft. Daß die Pterobranchier nahe mit den Enteropneusten verwandt sind, kann nach der Dreigliederung ihres Körpers, der Anwesenheit eines unpaarigen, durch 2 Pforten nach außen ausmündenden Cöloms und eines Perikardialbläschens in dem Protosom, eines mit 2 Pforten ausgestatteten Cölompaares im Mesosom und eines pfortenlosen Cölompaares im Metasom, der Existenz eines Stomochords, wozu bei Cephalodiscus noch ein Paar von Kiemenröhren kommt, nicht zweifelhaft sein. Demnach entspricht das Protosom der Eichel oder dem Rüssel, das Mesosom dem Kragen und das Metasom dem Rumpfe der Enteropneusten, das Stomochord dem Eicheldarm. Die abweichenden Eigenschaften (U-förmiger Verlauf des Darmkanals mit dorsal gelegenem After, kurzer Rumpf, der sich in einen Stiel auszieht, Ausstattung des Mesosoms mit tentakeltragenden Armen, Fortpflanzung durch Knospung) stehen sämtlich in verständlichen Beziehungen zu der gehäusebewohnenden Lebensweise im Gegensatz zu der im Meeresboden grabenden der Enteropneusten.

Die zuerst von Allman und Nicholson ausgesprochene Vermutung, daß die nur fossil bekannten Graptolithen Gehäuse von Pterobranchiern seien, hat neuerdings Schepotieff zu stützen versucht (1907).

Literatur. ***K. A. Andersson,*** *Die Pterobranchier der schwedischen Südpolarexpedition, 1907.* — ***S. F. Harmer,*** *The Pterobranchia of the Siboga-Expedition, 1905.* — ***A. T. Masterman,*** *in: Quart. Journ. microsc. Sc., Vol. 40, 1897, Vol. 46, 1903; Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Vol. 39, 1898.* — ***W. C. M'Intosh,*** *Report on Cephalodiscus dodecalophus, in: Challenger-Rep., Vol. 20, 1887 (Appendix by S. F. Harmer).* — ***W. G. Ridewood,*** *Pterobranchia, in: Nation. Antarct. Exped., Vol. 2, 1907; Mar. Invest. South Africa, Vol. 4, 1906; Quart. Journ. microsc. Sc., Vol. 51, 1907.* — ***A. Schepotieff,*** *Die Pterobranchier, in: Zool. Jahrb., Vol. 23, 1906, Vol. 25, 1907, Anat.*

J. W. Spengel.

Digitized by Google

Puddingstein

ein kieseliges Konglomerat von Geröllen mit vorherrschendem Bindemittel von puddingähnlichem Aussehen.

Pumpen

siehe den Artikel „Wasserkraftmaschinen und Wasserhebemaschinen".

Purkinje
Johannes Evangelista.

Geboren am 17. Dezember 1787 in Libochowitz bei Leitmeritz in Böhmen, gestorben am 28. Juli 1869 in Prag. Wurde im Piaristen-Institut zu Nikolsburg erzogen. Studierte in Prag zuerst Philosophie, dann Medizin und wurde 1819 zum Assistenten der Anatomie und Physiologie in Prag ernannt. Von 1823 bis 1850 wirkte er als ordentlicher Professor der Physiologie und Pathologie in Breslau, wohin ihn Goethe auf Grund seiner Dissertation „Zur Physiologie des Sehens" empfohlen hatte. 1850 erhielt er einen Ruf als Professor der Physiologie nach Prag, wo er das 1851 eingeweihte Physiologische Institut begründete. Seine Arbeiten betrafen vor allem das Gebiet der subjektiven Empfindungen und die Morphologie. Er hat wesentlich zur Kenntnis der Natur des Eies dadurch beigetragen, das er 1825 im Vogelei das Keimbläschen entdeckte. Auch hat er die Kenntnis der Epithelien verschiedener Tierformen befördert, deren gefäßlosen zelligen Bau er zuerst erkannte.

Von seinen zahlreichen Entdeckungen sind weiter noch zu nennen: Die Ausführgänge der Schweißdrüsen auf der Haut, der Bau des Knorpels, der Knochen, der Zähne, die embryonale Entwickelung der letzteren, die Zusammensetzung der Blutgefäßwände, die Flimmerbewegung bei Wirbeltieren, die Magendrüsen, die Struktur der Nervenfasern mit ihren Achsenzylindern, die Nervenzellen im Gehirn usw. Er benutzte zuerst das Mikrotom für die mechanische Zerlegung der Objekte in Serien und den Kanadabalsam für mikroskopische Präparate, auch verwandte er schon die Laterna magica für mikroskopische Bilder. Purkinje ist als der Begründer der experimentellen Physiologie und der mikroskopischen Anatomie in Deutschland anzusehen. Seit 1850 aber, als er nach Prag zurückkehrte, entfremdete er sich immer mehr von Deutschland; seine Lebensaufgabe bestand fortan in der Hebung und Fortbildung der tschechischen Nationalität. Auch seinen Namen änderte er jetzt in Purkyně um. Er schrieb: Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne (Berlin 1823 bis 1825, 2. Bd.), De cellulis Antherarum fibrosis nec non de granorum pollinarium formis commentatio phytotomica (Breslau 1830). Er begründete die naturwissenschaftliche Zeitschrift „Ziva" 1853, die er mit Kreijci bis 1864 herausgab. Auch lieferte er eine wohlgelungene Uebersetzung von Schillers lyrischen Gedichten ins Tschechische.

Literatur. **Carus,** *Geschichte der Zoologie. München 1872.* — **Burckhardt,** *Geschichte der Zoologie. Leipzig 1907.* — **v. Schrötter,** *Rede in der Sitz. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. am 30. Mai 1870. Verzeichnis der gesamten Arbeiten Purkinjes.* — **R. Heidenhain,** *Allgemeine deutsche Biographie. Bd. 26. 1888.*

W. Harms.

Pycnogonidae,

eine gewöhnlich den Arachnoiden (Spinnentieren) angereihte Gruppe von Gliedertieren, die man jetzt wegen ihrer sehr umfangreichen Gliedmaßen als Pantopoden bezeichnet (vgl. den Artikel „Pantopoda").

Pyridingruppe.

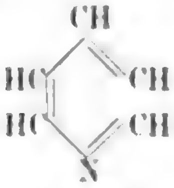
1. Definition. 2. Konstitution und Bezeichnungsweise. 3. Vorkommen. 4. Bildungsweisen und synthetische Methoden. 5. Charakteristische Gruppeneigenschaften: a) Physikalische. b) Chemische. c) Physiologische. 6. Spezielle Beschreibung wichtiger Verbindungen.

1. Definition. Die Bezeichnung Pyridingruppe umfaßt im weiteren Sinne die Gesamtheit aller Derivate des sogenannten Pyridins, einer starken, heterozyklischen, stickstoffhaltigen, tertiären Base, die in unreinem Zustande schon im Mittelalter bekannt war, rein aber erst im Jahre 1851 von Anderson — zugleich mit mehreren ihrer Homologen — aus dem sogenannten Dippelschen Oel isoliert wurde, einem bei der Destillation von Knochen sich bildenden übelriechenden Liquidum. Der genannte Forscher verlieh der Base als einem auf pyrogenem Wege entstandenen Amin den Namen Pyridin. Im engeren Sinne, der für vorliegenden Artikel maßgebend ist, versteht man unter Pyridingruppe nur die monozyklischen Derivate jener Base, d. h. diejenigen, bei denen der Pyridinring nicht mit einem anderen Ringsystem „verschweißt" ist. Chinolin und Akridin, welche kondensierte Pyridine darstellen, werden daher an anderer Stelle abgehandelt (vgl. die Artikel „Chinolingruppe" und „Akridingruppe").

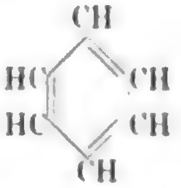
2. Konstitution und Bezeichnungsweise. Das Pyridin, von der empirischen Formel C_5H_5N, ist das erste Glied einer Reihe homologer Verbindungen, welche vom zweiten Glied ab mit den Anilinbasen isomer sind. Die besonderen Eigenschaften der Pyridinbasen ließen sie in keine der be-

Digitized by Google

kannten Körperklassen einreihen, weshalb schon früh Spekulationen über ihre Konstitution gemacht wurden. Zuerst sprach sich im Jahre 1869 Körner darüber aus, und die von ihm aufgestellte Formel bildet auch heute noch den wahrscheinlichsten Ausdruck für den Aufbau des Pyridins. Danach ist es durch einen sechsgliederigen Ring, bestehend aus 5 C-Atomen und einem N-Atom, gekennzeichnet, welche durch abwechselnd doppelte und einfache Bindungen aneinander gekettet sind. Das so entstehende Formelbild weist also weitgehende Aehnlichkeit mit demjenigen des Benzols nach Kekulé auf.

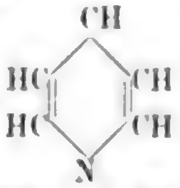


Pyridin nach Körner.



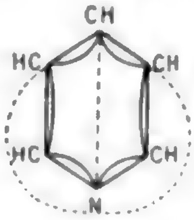
Benzol nach Kekulé.

Daneben ist noch die Riedelsche Pyridinformel in Betracht zu ziehen, bei welcher das Stickstoffatom an drei verschiedene Kohlenstoffatome gekettet erscheint.



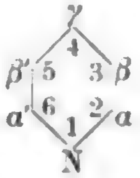
Pyridin nach Riedel.

In Wirklichkeit dürfte keine der beiden Formeln die Struktur des Pyridins exakt wiedergeben. Denn wie beim Benzol die Partialvalenzverhältnisse gemäß der Thieleschen Anschauung zu berücksichtigen sind, so auch beim Pyridin. Da Stickstoff ein an Partialvalenz sehr reiches Element ist, läßt sich folgende Formel aufstellen, die gewissermaßen die beiden anderen in sich schließt und außerdem erkennen läßt, daß nur zwei von den Kohlenstoffatomen (die sogenannten β-C-Atome) als Angriffspunkte für Substitutionen im Pyridin in Betracht kommen, was mit der Erfahrung übereinstimmt (siehe auch den Artikel „Valenzlehre").



Die Formel ist symmetrisch, was mit dem Auftreten von nur drei Monosubstitutionsprodukten im Einklang steht. Durch Einführung von Substituenten werden sich natürlich die quantitativen Beträge der Partialvalenzen von Fall zu Fall in verschiedener Richtung verändern, so daß sich die Konstitution der betreffenden Derivate bald mehr dem durch die Kekulésche Formel versinnbildlichten Grenzzustand nähert, bald mehr dem durch die Riedelsche repräsentierten. Damit stimmt überein, daß einzelne Eigenschaften des Pyridins sich besser mit der erstgenannten, andere wieder besser mit der letztgenannten Formulierung erklären lassen. Bei den verschiedenen, unten zu schildernden Pyridinsynthesen gelangt man ebenfalls bald zur einen, bald zur anderen Formulierung. Beide lassen erkennen, daß eine tertiäre Base vorliegt und erklären die Isomerieverhältnisse der Pyridinderivate in befriedigender Weise. Die Kekulésche Formel versinnbildlicht besonders gut die ganz auffallende Beständigkeit des Pyridinringes gegen starke Oxydationsmittel, welche größer ist als die des Benzols, die Riedelsche dagegen, die äußerst leicht zu bewirkende Aufspaltung und Hydrierung des Pyridinringes (s. weiter unten). Daß das Benzol nicht ganz genau das strukturelle Analogon des Pyridins ist, erhellt auch aus dem Vergleich der Ultraviolett-Absorptionskurven der beiden Verbindungen, die stark verschieden sind. Die Pyridinkurve gleicht mehr derjenigen des Anilins.

Wenn man von der speziellen, nach Obigem noch nicht ganz feststehenden Struktur des Pyridinringes absieht, so bezeichnet man die Base symbolisch abgekürzt durch Py, sowie durch das Schema



welches auch die Kennzeichnung der Substitutionsprodukte regelt. Man kann also die isomeren Verbindungen entweder durch Zahlen oder durch griechische Buchstaben unterscheiden; letzteres ist der gebräuchlichere Modus.

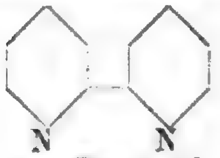
Einige von den Derivaten des Pyridins führen besondere Trivialnamen, so werden z. B. die der empirischen Formel C_6H_7N entsprechenden Basen, also die Methylpyridine, als Picoline bezeichnet, die Basen von der Zusammensetzung C_7H_9N wegen ihrer Isomerie mit den Toluidinen als Lutidine, diejenigen der Zusammensetzung $C_8H_{11}N$ als Collidine, die Basen $C_9H_{13}N$ als Parvoline.

Monosubstitutionsprodukte des Pyridins bei gleichen Substituenten gibt es 3, Di-, und Tri-Substitutionsprodukte je 6, Tetraprodukte 3, ferner ein Pentaderivat. Bei Ungleichheit der Gruppen wächst die Zahl der isomeren Verbindungen außerordentlich. Bei 4 ungleichen Substituenten beträgt sie schon 120.

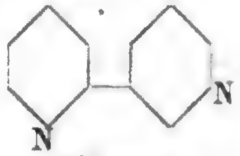
Eine besondere Gruppe von Substitutionsprodukten sind die Dipyridyle, die durch

Digitized by Google

direkte Verkettung zweier Pyridinreste entstanden gedacht werden können.



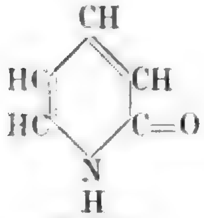
α, α-Dipyridyl



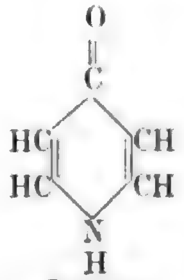
α, β-Dipyridyl

γ, γ-Dipyridyl.

Vom Pyridin leiten sich ferner hydrierte Verbindungen ab. Von diesen ist die wichtigste das Hexahydropyridin, auch Piperidin genannt, weil es einen Bestandteil des im Pfeffer (Piper nigrum) vorkommenden Alkaloids Piperin ausmacht. Tetrahydro- und Dihydropyridine sind sehr unbeständig; von letzteren derivieren Ketoverbindungen, die als Pyridone bezeichnet werden, z. B.



α-Pyridon



γ-Pyridon.

Die Pyridone lassen sich als tautomere Formen des α- und γ-Oxypyridins auffassen.

3. Vorkommen. Pyridinbasen sind, wie erwähnt, in reichlicher Menge im Knochenöl enthalten und bilden sich auch sonst bei der trockenen Destillation tierischer Abfälle. Weitere Fundorte sind Braunkohlenteer, bituminöse Schiefer, Torf, gewisse Fuselöle, Roherdöle, und vor allem der Steinkohlenteer, aus dessen „Leichtölfraktion" sie im großen fabrikatorisch durch Behandeln mit Säure gewonnen werden. Das Pyridin ist als Muttersubstanz der weitaus größten Zahl aller Pflanzenalkaloide erkannt worden, so daß seinerzeit Königs ein Alkaloid direkt als „eine organische, vom Pyridin sich ableitende Pflanzenbase" definierte. Wennschon diese Definition nicht mehr aufrecht erhalten werden kann, so sind doch Pyridinbasen als Abbauprodukte zahlreicher Alkaloide leicht zu gewinnen. Zu diesen gehören die Arecaalkaloide: Arecaïdin, Arecolin, Arecaïn, sowie die Schierlings-Alkaloide, deren wichtigste Vertreter Coniin und Conhydrin sind, die sich speziell vom Piperidin ableiten. Ein sehr wichtiges echtes Pyridinderivat ist das Tabakalkaloid Nikotin, ferner seien noch genannt das Nikoteïn und das Trigonellin, sowie das bereits erwähnte Piperin. Auf Grund dieser Tatsachen ist es nicht verwunderlich, daß Pyridinbasen auch im Tabaks- und Opiumrauch enthalten sind. Als ein normaler Bestandteil des Menschenharns soll Pyridinchlormethylat auftreten; sein Vorkommen wird auf den Genuß von Tabak und Kaffee zurückgeführt. Die zugehörige Base, das Methylpyridiniumhydroxyd, wurde im Krabbenextrakt aufgefunden. Dieselbe Substanz erscheint beim Verfüttern von Pyridin im Harn (des Hundes).

4. Bildungsweisen und synthetische Methoden. 4a) Eine glatt verlaufende Synthese für Pyridin selbst ist noch nicht gefunden worden; es bildet sich in geringer Menge

α) durch Destillation von Aethylallylamin über auf 400 bis 500° erhitztes Bleioxyd.

$$CH_3—CH_2—NH—CH_2—CH = CH_2 + 3O = C_5H_5N + 3H_2O.$$

β) aus Pyrrol durch Ringerweiterung mittels Methylenjodid und Natriummethylat bei 200°;

γ) beim Erhitzen von Glycerin mit Ammonsulfat;

δ) aus sämtlichen Pyridincarbonsäuren beim Erhitzen mit Kalk, der kohlensäureentziehend wirkt;

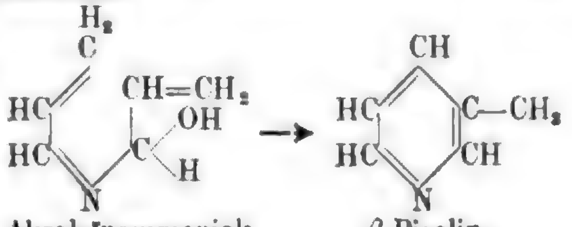
ε) aus Piperidin durch Ueberleiten über auf 280° erhitztes Nickel im Wasserstoffstrom oder durch Oxydation mit Schwefelsäure bezw. Silberoxyd.

4b) Homologe Pyridine: Picoline, Collidine, Lutidine entstehen synthetisch

α) durch Erhitzen der Pyridinjodalkylate,

β) durch Abspaltung von Kohlendioxyd aus den entsprechenden Mono- und Dicarbonsäuren.

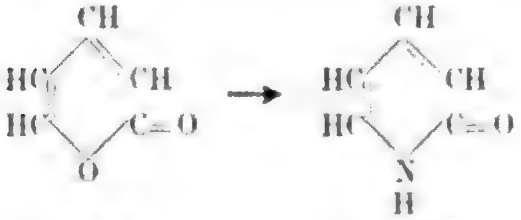
γ) Das β-Picolin entsteht speziell auch durch innere Kondensation von Acroleïnammoniak.



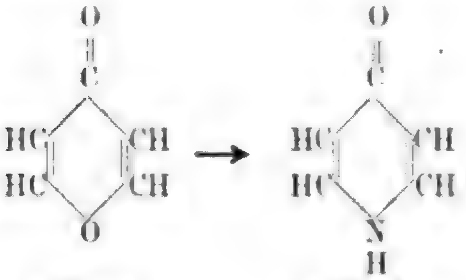
Akroleïnammoniak β-Picolin.

Diese Reaktion liegt offenbar auch der pyrigenen Bildung von Pyridinbasen beim Destillieren von Knochen usw. zugrunde. Das Acrolein entstammt dem Glycerin der Fette, während Knorpelsubstanzen (Leim) die Ammoniakquelle bilden.

4c) Von den Oxypyridinen entsteht das *β*-Derivat durch Kalischmelze der entsprechenden Sulfonsäure; die *α*- und *γ*-Derivate, die als Pyridone aufzufassen sind, bilden sich durch Austausch des zyklisch gebundenen Sauerstoffs in den Pyronen gegen die Imidogruppe vermittelst Ammoniak.



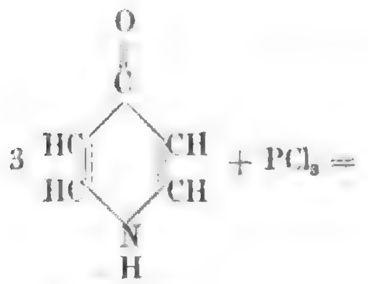
α-Pyron *α*-Pyridon



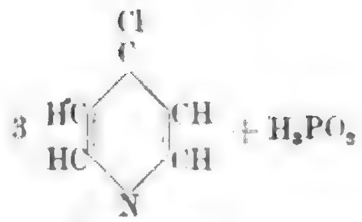
γ-Pyron *γ*-Pyridon.

Letztere Bildungsweise ist theoretisch wichtig, weil sie einiges Licht auf die Entstehung vieler Alkaloide in den Pflanzen wirft. Wir wissen nämlich, daß in letzteren manchmal gewisse Pyronderivate z. B. Mekonsäure (*β*-Oxy-*γ*-Pyron-*α*,*α*'-Dicarbonsäure) Chelidonsäure, (*γ*-Pyron-*α*,*α*'-Dicarbonsäure) auftreten. Ferner ist die Apfelsäure sehr verbreitet im Pflanzenreich, welche durch Wasserabspaltung leicht in Cumalinsäure (*α*-Pyron-*β*-Carbonsäure) übergeht.

4d) Von den Halogen-, Nitro- und Sulfonsäurederivaten des Pyridins entstehen nur die *β*-Abkömmlinge, wenn auch schwierig, durch direkte Substitution. *α*- und *γ*-Halogenpyridine werden aus den Pyridonen mit Phosphortrichlorid erhalten, z. B.

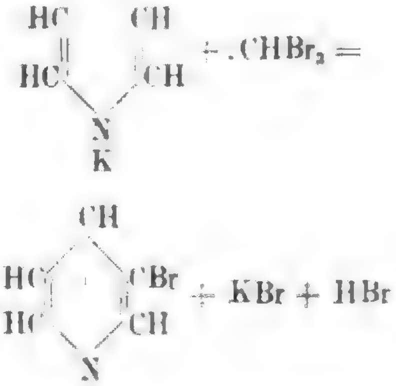


γ-Pyridon

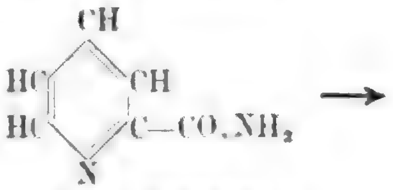


γ-Chlorpyridin.

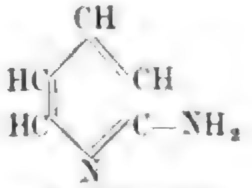
β-Chlor- und Brompyridine lassen sich auch durch Ringerweiterung aus Pyrrolkalium mit Chloroform bezw. Bromoform darstellen:



4e) Aminopyridine entstehen aus den Halogenpyridinen durch Einwirkung von Ammoniak, aus den Amiden der Pyridincarbonsäuren durch den Hofmann-Würtzschen Abbau mit Bromlauge:



Picolinsäureamid

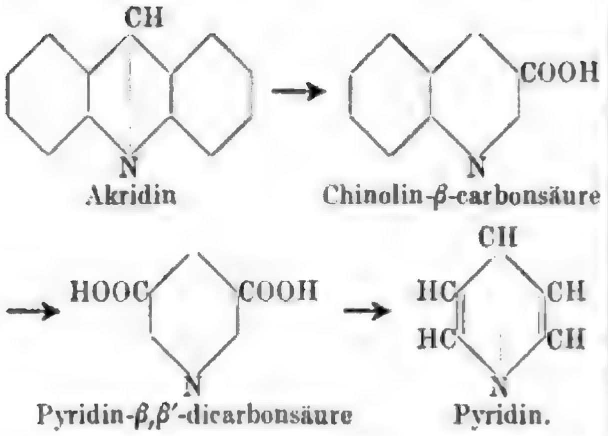


α-Amidopyridin.

Die *β*-Verbindung kann auch durch Reduktion des neuerdings durch direkte Nitrierung gewonnenen *β*-Nitropyridins dargestellt werden.

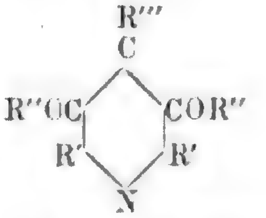
4f) Pyridincarbonsäuren entstehen durch Oxydation der Homologen des Pyridins, sowie zahlreicher kondensierter Pyridine, wie Chinolin, Akridin usw.

Da in der zuletzt genannten Verbindung eine Parabindung von Stickstoff zum Kohlenstoff angenommen werden muß, so liefert diese Entstehung von Pyridincarbonsäuren und damit von Pyridin selbst eine wichtige Stütze für die Riedelsche Formel:

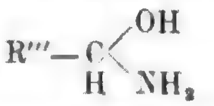


Sämtliche möglichen Pyridincarbonsäuren sind wohl bekannt; deshalb gibt ihr Auftreten bei der Oxydation einer unbekannten Verbindung wertvolle Fingerzeige für deren Konstitution. Rein synthetisch erhält man Pyridincarbonsäuren in Gestalt ihrer Ester nach der im folgenden unter g geschilderten Methode.

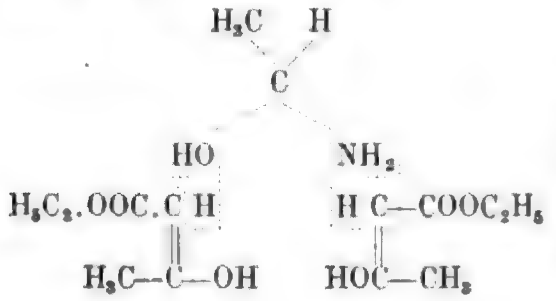
4g) Die wichtigste Pyridinsynthese, durch welche Substanzen von der allgemeinen Formel

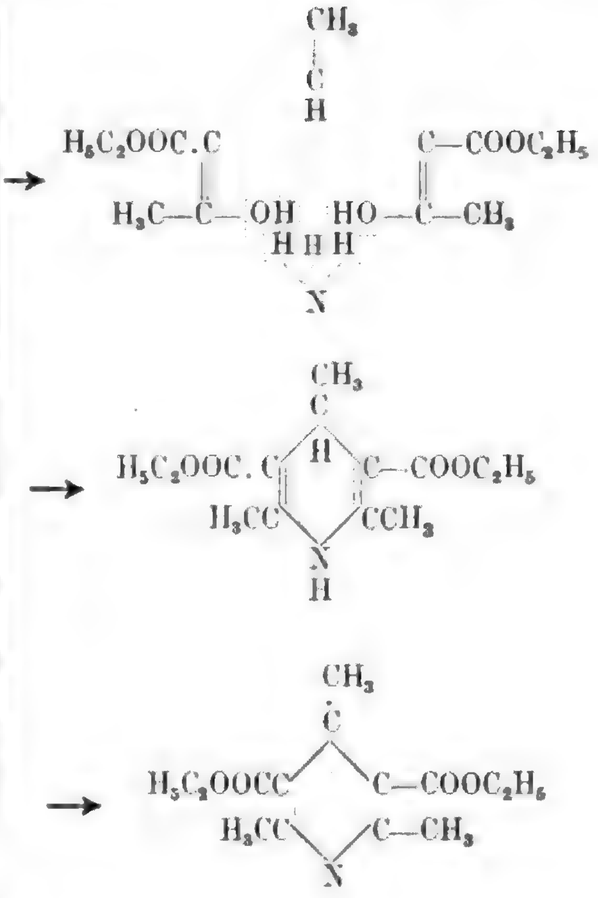


(wo R' und R''' Alkyle bezw. Aryle, R'' Alkyle bezw. Oxalkyle bedeuten), gewonnen werden können, ist von Hantzsch aufgefunden worden. Sie beruht auf der Kondensation von Aldehydammoniaken

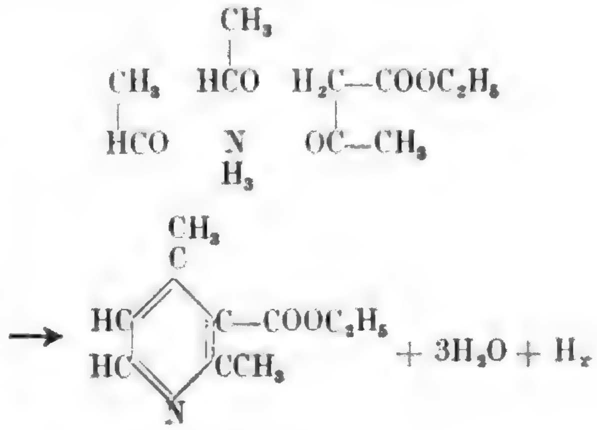


mit 1,3-Diketonen oder 1,3-Ketoestern und liefert zunächst Alkyliden- bis -diketone bezw. -ketoester, die dann mit dem abgespaltenen Ammoniak in Dihydropyridinderivate übergehen, welche bei der nachfolgenden Oxydation leicht zwei Wasserstoffatome verlieren. Das typische Beispiel hierfür ist die Bildung von Collidindicarbonsäurediäthylester aus Acetaldehydammoniak und zwei Molekülen Acetessigester:





Man kann auch ein Molekül Acetessigester durch ein zweites Molekül Aldehyd ersetzen und gelangt dabei, indem spontane Oxydation des primär gebildeten Dihydroderivates stattfindet, zum α-γ-Dimethylpyridin-β-carbonsäureester.

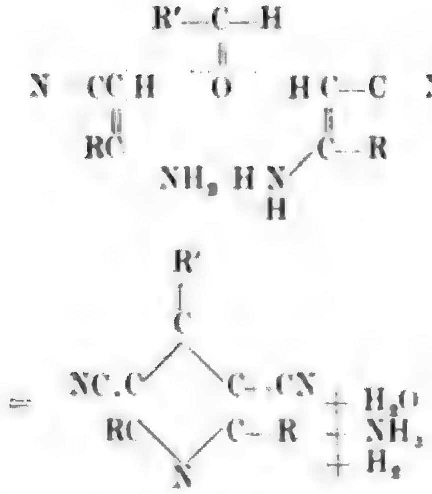


4h) Mit der vorstehenden verwandt ist die E. v. Meyersche Synthese von Pyridinderivaten aus Aldehyden und den sogenannten Dinitrilen, Substanzen der allgemeinen Formel:

$$H_2N-\underset{R}{C}=\underset{H}{C}-C\equiv N.$$

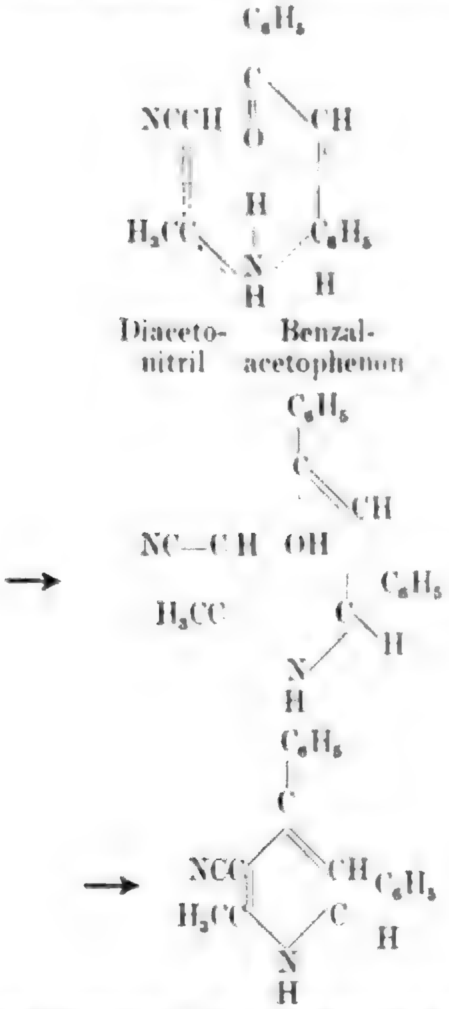
Sie verläuft nach dem Schema:

Digitized by Google

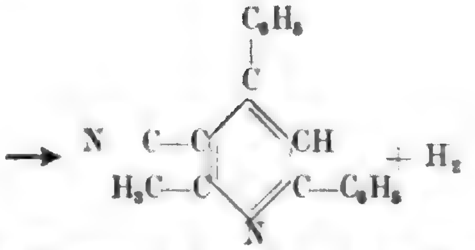


Man erhält sonach bei der Oxydation der primär entstehenden Dihydroderivate Nitrile von Pyridincarbonsäuren.

4i) Dinitrile können auch noch in anderer Weise zur Synthese von Pyridinderivaten verwendet werden, wenn man sie mit ungesättigten Ketonen vom Typus des Benzalacetophenons umsetzt. Hierbei addiert sich an dessen konjugierte Doppelbindung das Dinitril in 1,4-Stellung gemäß folgendem Schema:

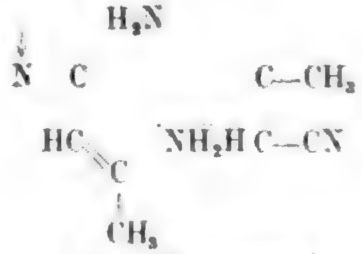


1,2-Dihydro-2,4-Diphenyl-5-Cyan-6-Methyl-pyridin

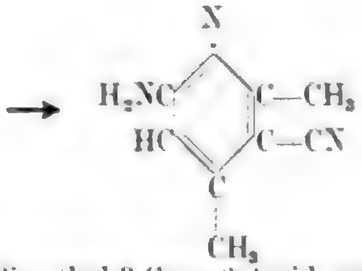


2,4-Diphenyl-5-Cyan-6-Methylpyridin.

4k) Durch Selbstkondensation von Dinitrilen bei Gegenwart von Ammoniak bindenden Mitteln erfolgt Bildung von α-Aminopyridinderivaten, z. B.

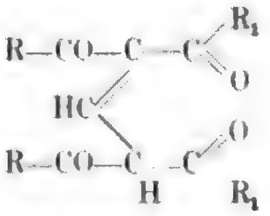


2 Mol. Diacetonitril

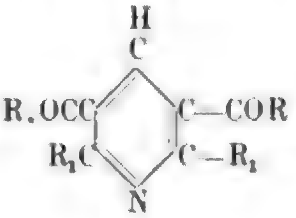


2,4-Dimethyl-3-Cyan-6-Amidopyridin.

4l) α,β-Diketomethenylverbindungen:



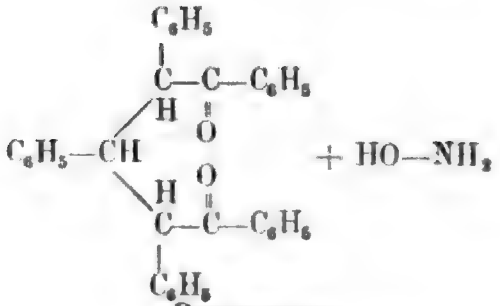
die ihrerseits aus β-Diketonen mit o-Ameisenester entstehen, gehen mit Ammoniak in Pyridinderivate der allgemeinen Formel:



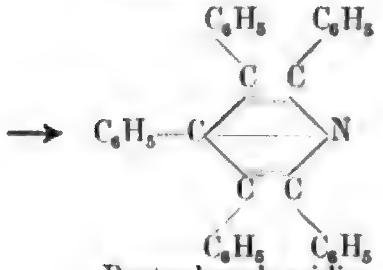
über.

4m) 1,5-Diketone reagieren — sofern ihre Carbonyle halbseitig aromatisch gebunden sind — mit Hydroxylamin ebenfalls unter Schließung des Pyridinringes.

Digitized by Google



Benzamaron

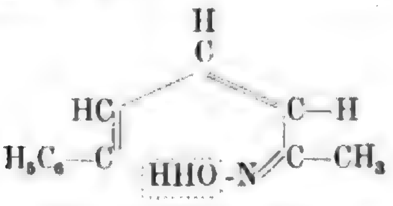


Pentaphenylpyridin.

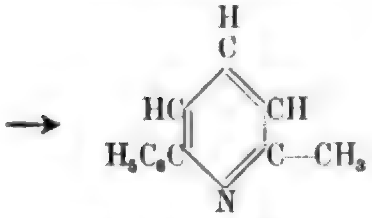
4n) Oxime der $\alpha, \beta, \gamma, \delta$-ungesättigten Ketone mit der Atomverkettung

$$-CH{=}C-C{=}C-C({=}NOH)-C$$

gehen bei der trockenen Destillation unter Wasserabspaltung in α, α'-substituierte Pyridine über, z. B.



Cinnamylidenacetoxim



α-Methyl-α'-Phenylpyridin.

4o) Dipyridyle entstehen

α) durch Einwirkung von metallischem Natrium auf Pyridinbasen, wobei der frei werdende Wasserstoff einen Teil derselben in kompliziertere Hydroderivate verwandelt; so liefert Pyridin selbst das γ,γ-Dipyridyl;

β) durch Oxydation von Phenanthrolinen. Hierbei entstehen Dipyridylcarbonsäuren, die durch Kohlensäureabspaltung sich in α,α-, α,β- und β,β'-Dipyridyle verwandeln.

4p) Piperidine entstehen

α) durch Reduktion von Pyridin mit Natrium und Alkohol oder mit Wasserstoff bei Gegenwart von feinverteiltem Nickel;

β) durch Reduktion von Trimethylencyaniden und Ammoniakabspaltung aus den gebildeten Pentamethylendiaminen;

γ) durch innere Kondensation von ε-Chloramylaminen,

δ) aus 1,5-Dibrompentanen mit Ammoniak bezw. Aminen.

Die Dibrompentane werden ihrerseits durch Aufspaltung benzoylierter Piperidine gewonnen (s. unten).

5. **Charakteristische Gruppeneigenschaften.** 5a) Physikalische Eigenschaften. Die Pyridinbasen sind in den niederen Gliedern in Wasser leicht, in den höheren schwer löslich. Von letzteren löst kaltes Wasser mehr als heißes. Durch starke Alkalien werden sie aus den Lösungen ausgeschieden. Ihr Geruch ist durchdringend unangenehm, der Geschmack brennend, weshalb ein Gemenge von ihnen zum Denaturieren (Vergällen) des Spiritus verwendet wird.

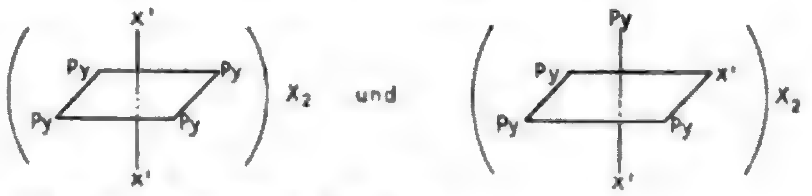
5b) Chemische Eigenschaften. Auf die außerordentliche Beständigkeit der Pyridinbasen gegen oxydierende Agenzien wurde bereits hingewiesen, ebenso auf den großen Widerstand, den sie einer Substitution entgegensetzen.

Wesentlich anders verhalten sie sich bei Additionsreaktionen. So nehmen sie relativ leicht 6 Wasserstoffatome am Kern auf; besonders glatt vollziehen sich aber Anlagerungen am dreiwertigen Stickstoff, die auf der Betätigung der schlummernden Valenzbeträge desselben beruhen.

So geben Pyridinbasen mit Säuren wohl charakterisierte Salze, z. B. $C_5H_5N....HCl$, die sich ihrerseits wieder mit Metallchloriden zu Doppelsalzen vereinigen. Für die Reinigung und Trennung von Pyridinbasen spielen insbesondere die Quecksilberchloriddoppelsalze eine große Rolle. Pyridinbasen addieren sich ferner direkt an Metallsalze unter Bildung Wernerscher Einlagerungsverbindungen (vgl. den Artikel „Valenzlehre"). Es gibt z. B. Platiniverbindungen folgender allgemeinen Formel:

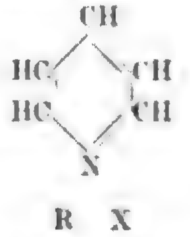
$$\left[Pt\begin{matrix}x'_2\\Py_4\end{matrix}\right]x_2$$

wo x und x′ Halogenatome bedeuten. Sie treten in stereoisomeren Formen auf, gemäß dem Schema:



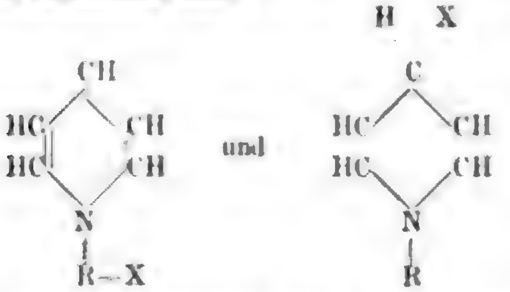
Digitized by Google

Als tertiäre Amine lagern Pyridinbasen leicht ein Mol. Halogenalkyl an unter Bildung von Pyridiniumsalzen, denen auf Grund der formalen Valenzlehre die Konstitution

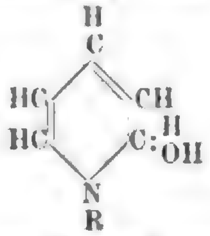


zuerteilt wird.

Hantzsch hat indessen neuerdings wahrscheinlich gemacht, daß diese quaternären Salze in je 2 Formen auftreten können, die als Valenzisomere im Sinne der nachstehenden Strukturbilder aufzufassen sind.



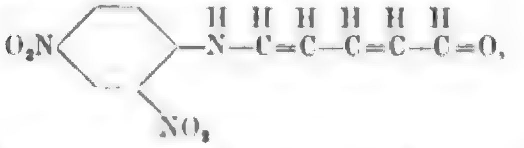
Die zweite „chinoide" Form ist regelmäßig tiefer farbig; in Lösungen existieren Gleichgewichte der beiden Formen. — Die Pyridiniumsalze sind allgemein dadurch charakterisiert, daß sie sich sehr leicht aufspalten lassen. Mit Alkalien entstehen Pseudobasen (Pyridanole) der Formel:



die sich leicht zu Pyridonen oxydieren lassen und sich bisweilen so verhalten, als wären sie Aminoaldehyde mit einer ungesättigten Kohlenstoffkette gemäß folgendem Strukturbild:

$$\begin{matrix} R \\ H \end{matrix}\!\!>N-\underset{H}{C}=\underset{H}{C}-\underset{H}{C}=\underset{H}{C}-\underset{H}{C}=O.$$

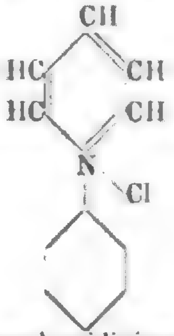
Nimmt in den Pyridiniumsalzen das am N sitzende Radikal infolge seiner ungesättigten Natur besonders viel Valenz in Anspruch, wie es z. B. beim Dinitrophenyl- und beim Cyanradikal der Fall ist, so wird die Tendenz zur Aufspaltung des Ringes mit Alkalien oder Aminen ganz außerordentlich gesteigert. So entsteht z. B. aus Dinitrophenylpyridiniumchlorid mit Soda eine rote Pseudobase der Konstitution:



während mit primären oder sekundären aromatischen Aminen — ebenso wie aus Cyanpyridiniumbromid — interessante Farbstoffe der allgemeinen Formel:

$$\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}\!\!>N-\underset{H}{C}=\underset{H}{C}-\underset{H}{C}=\underset{H}{C}-\underset{H}{C}=N\!\!<\begin{matrix} R \\ R' \\ Cl \end{matrix}$$

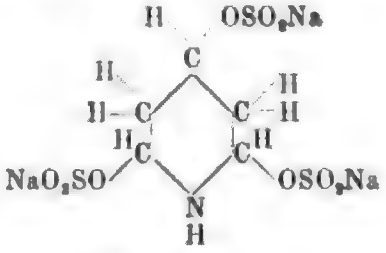
gebildet werden, die durch Elimination des Pyridinstickstoffs in Form von Dinitranilin resp. Cyanamid entstanden zu denken sind, und deren Chromophor sonach durch die Pentamethinkette des Pyridins repräsentiert wird. Die speziell aus primären Aminen erhaltenen Farbstoffe spalten beim Erhitzen leicht ein Molekül Amin ab und liefern unter Rückschließung des Ringes die auf anderem Wege nicht zugänglichen N-Arylpyridiniumsalze z. B.:



N-Phenylpyridiniumchlorid.

Die Aufspaltung des Pyridins unter Bildung der oben erwähnten Farbstoffe läßt sich nicht nur mit Dinitrochlorbenzol und Bromcyan, sondern auch noch mit zahlreichen anderen Substanzen bewirken, z. B. mit Imidchloriden, mit Dibromindenon, mit μ-Chloroxazolen und -thiazolen, mit Thiophosgen, mit 9-Chlorakridin, sowie auch mit anorganischen Substanzen, z. B. mit Phosphorpentachlorid.

Eine andere Aufspaltung des Pyridins beruht auf der ziemlich glatt vor sich gehenden Addition von Natriumbisulfit. Es entsteht ein Trischwefligsäureester des Trioxypiperidins von der Konstitution:



der sehr alkaliempfindlich ist. Es wird leicht ein Mol. Ammoniak abgespalten, während als zweites Produkt offenbar Glutakonaldehyd entsteht, der in Form seines salzsauren Dianilids (des einfachsten Vertreters der oben erwähnten Pyridinfarbstoffe)

$$C_6H_5-\underset{H}{N}-\underset{H}{C}=\underset{H}{C}-\underset{H}{C}=\underset{H}{C}-\underset{H}{C}=\overset{H}{\underset{\underset{Cl}{|}}{N}}-C_6H_5$$

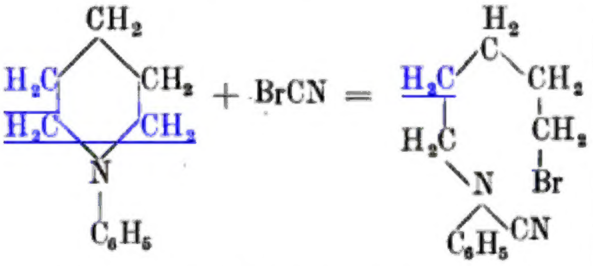
gefaßt werden kann.

Man kann sonach zusammenfassend sagen: **So resistent sich der Pyridinring gegenüber Oxydationsmitteln er-**

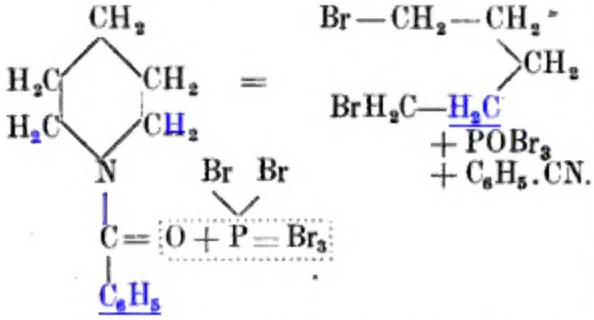
Digitized by Google

weist, so wenig Widerstand setzt er einer Aufspaltung entgegen.

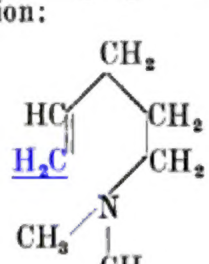
Was die chemischen Eigenschaften der Piperidine anbetrifft, so repräsentieren sie leicht nitrosierbare und acylierbare, sekundäre Basen, welche so kräftig sind, daß sie die stärksten Säuren neutralisieren. Die am N substituierten — insbesondere die arylierten — Piperidine lassen sich leicht mit Bromcyan aufspalten gemäß dem Schema:



Den Ring der N-benzoylierten Piperidine kann man ebenfalls leicht sprengen, und zwar durch Einwirkung von Phosphorpentachlorid oder -bromid, wobei 1,5-Dihalogenpentane entstehen.



Eine dritte Aufspaltungsmethode von Piperidinderivaten liegt in der sogenannten „erschöpfenden" Methylierung vor. Das dabei aus N-Methylpiperidin entstehende Jodmethylat gibt mit Silberoxyd eine Base, welche bei der Destillation Wasser abspaltet unter Uebergang in eine neue Base der Konstitution:



Bei nochmaliger Wiederholung einer derartigen Behandlung bildet sich schließlich neben Wasser und Trimethylamin ein Kohlenwasserstoff, dem man die Formel:

$$CH_3—\underset{H}{C}=\underset{H}{C}—\underset{H}{C}=CH_2$$

zuschreibt, und welcher Piperylen genannt wird.

5c) Physiologische Eigenschaften. Pyridinbasen sind nur wenig toxisch für höhere Lebewesen, für Bakterien dagegen ist ihr Dampf sehr giftig. In großen Dosen lähmt Pyridin die Herz- und Lungenenden des Vagus. Es wird daher als Linderungsmittel bei Asthmaanfällen empfohlen. Kompliziertere Pyridinderivate, wie sie in zahlreichen Alkaloiden vorliegen, wirken oft außerordentlich giftig. Es sei nur an die große Toxizität des Nikotins, eines β-N-Methylpyrrolidin-Pyridins, sowie des Coniins, eines α-Propylpiperidins, erinnert. Ueberhaupt weisen hydrierte Pyridine außerordentlich gesteigerte Giftigkeit auf. Piperidin selbst wirkt stark krampferregend.

6. Spezielle Beschreibung wichtiger Verbindungen. a) Pyridin, C_5H_5N, aus Tieröl und Steinkohlenteer gewinnbar, ist eine übelriechende, im Wasser leicht lösliche Base von Sdp. 114,5°. Es bildet ein zerfließliches Chlorhydrat und ein schwer lösliches Ferrocyanat. Sein Jodmethylat bildet gelbe Kristalle vom Schmp. 117°. Pyridin wird technisch verwendet zur Denaturierung von Spiritus, zur Darstellung einiger Farbstoffe (s. oben), ferner zur Reinigung des Rohanthracens.

b) Von den methylierten Pyridinen, den Picolinen siedet das α-Derivat bei 129°, die β-Verbindung bei 142 bis 143° und das γ-Derivat bei 144 bis 145°. α- und γ-Picolin besitzen reaktionsfähige Methylwasserstoffatome. Sie kondensieren sich deshalb leicht mit Aldehyden usw. In den Halogenalkylaten der Basen ist diese Reaktionsfähigkeit noch gesteigert.

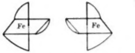
c) Die Oxypyridine sind den Amidophenolen an die Seite zu stellen. Nur die β-Verbindung (Schmp. 124°) ist als wahres, phenolartiges Oxypyridin aufzufassen; α- und γ-Derivate (Schmpp. 106 und 148°) haben die Konstitution von Pyridonen, wie aus der völligen Aehnlichkeit ihrer Absorptionskurven im Ultraviolett mit denen von N-Alkylpyridonen hervorgeht.

d) Bei den Aminopyridinen liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei den Oxypyridinen. Nur die β-Verbindung (Schmp. 64°) ist als wahres Aminoderivat anzusprechen. Es hat den Charakter eines aromatischen Amins, da es sich z. B. — ähnlich wie das Anilin — diazotieren läßt.

e) Von den drei Chlorpyridinen sind die α- und die γ-Verbindungen durch labile Chloratome ausgezeichnet.

f) Die drei Pyridinmonocarbonsäuren, die α-Säure oder Picolinsäure vom Schmp. 135°, die β-Säure oder Nikotinsäure vom Schmp. 229°, die γ-Säure oder Isonikotinsäure vom Schmp. 304° werden durch Oxydation der drei Methylpyridine und zahlreicher anderer Pyridinderivate erhalten.

g) Dipyridyle. Das α,α-Derivat, Schmp. 70°, bildet sich beim Destillieren von picolinsaurem Kupfer und ist dadurch interessant, daß es innere Komplexverbindungen mit Ferrosalzen bilden kann, welche sich nach Werner in optisch aktive Antipoden spalten lassen. Letztere lassen sich durch die Konfigurationsbilder:

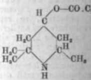


darstellen. ⌒ bedeutet je ein Mol Dipyridyl, das mit seinen Nebenvalenzen je zwei benachbarte Koordinationsstellen des Ferroatoms besetzt.

Das γ,γ-Dipyridyl kristallisiert mit 2 Mol. Wasser und schmilzt bei 74°, wasserfrei bei 114°. Es gibt bei der Oxydation Isonikotinsäure.

h) Piperidin, $C_5H_{11}N$, ist eine bei 105° siedende, in Wasser, Alkohol, Aether außerordentlich leicht lösliche, stark basische Flüssigkeit, die zuerst durch Hydrolyse des Alkaloids Piperin erhalten wurde. Synthetisch ist es aus Pyridin durch Reduktion mit Natrium und Alkohol darstellbar.

i) Ein technisch wichtiges, synthetisch gewonnenes, kompliziertes Piperidinderivat ist das als Lokalanästhetikum verwendete Eucain B, welches weiße Kristalle vom Schmp. 91° bildet. Seiner Struktur nach ist es ein benzoyliertes 2,6-Trimethyl-4-oxypiperidin der nachstehenden Formel:



Literatur. **S. Metzger**, *Pyridin-Chinolin. 1885.* — **Calm-Buchka**, *Die Chemie des Pyridins und seiner Derivate. Braunschweig 1889—1891.* — **W. Königs**, *Studien über die Alkaloide. München 1880.* — **Pictet-Wolffenstein**, *Die Pflanzenalkaloide. II. Aufl.* — **J. W. Brühl**, *Chemie der 6-gliedrigen heterocyklischen Systeme. S. 80ff.* — **Richter**, *Organische Chemie. X. Aufl. Bd. 2.* — **Wedekind**, *Heterocyklische Verbindungen.* — *Die Patentliteratur über Pyridinderivate ist zusammengestellt in* **Winther**, *Patente der organischen Chemie. Bd. 1, S. 958ff.*

W. König.

NOV 5 - 1915

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

Digitized by Google

Digitized by Google